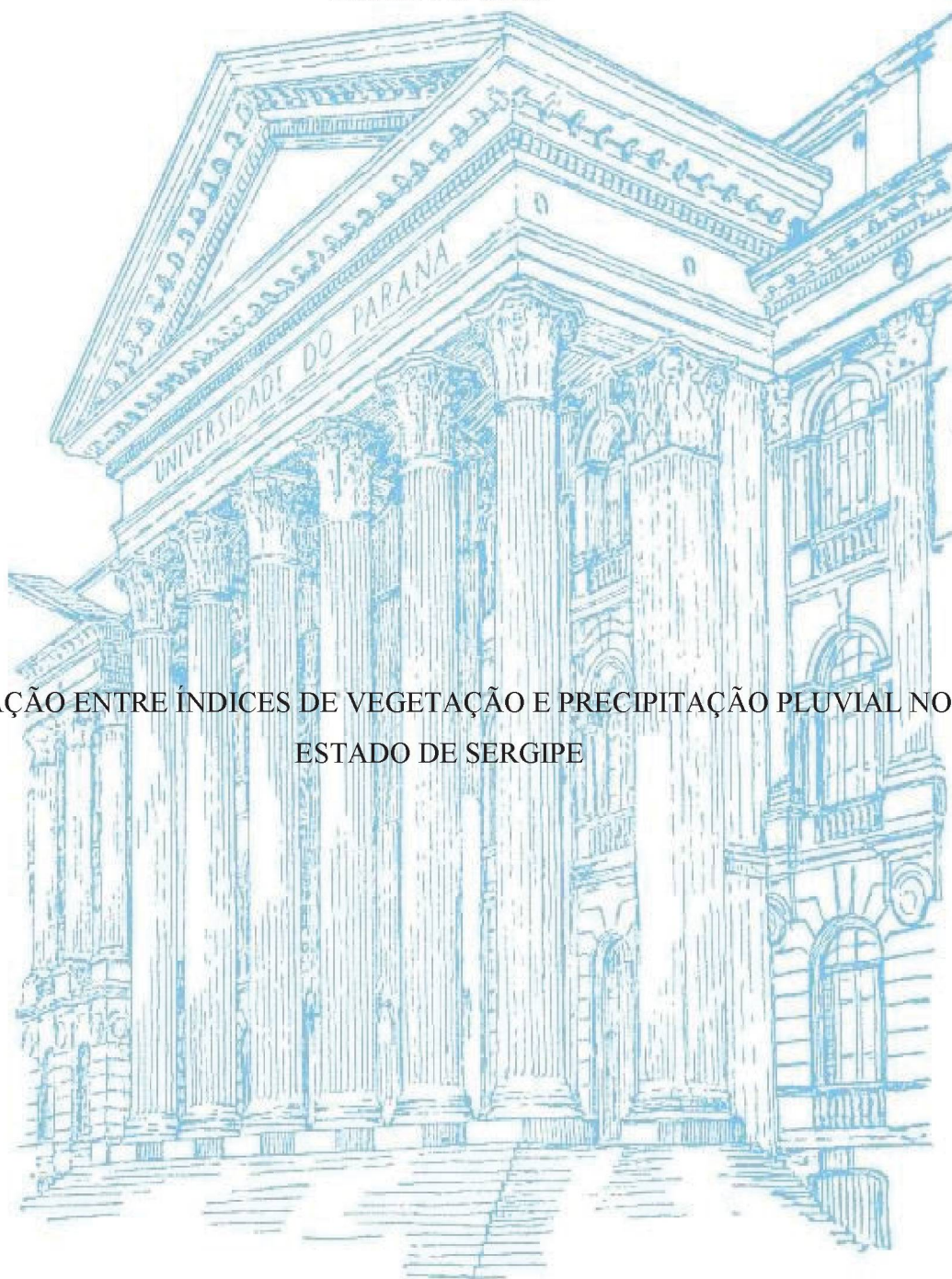


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISIS MELO DIAS



RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO  
ESTADO DE SERGIPE

CURITIBA

2017

ISIS MELO DIAS

RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO  
ESTADO DE SERGIPE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração em Manejo Florestal, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Co-orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2017



Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Dias, Isis Melo

Relação entre índices de vegetação e precipitação pluvial no estado de Sergipe / Isis Melo Dias. – Curitiba, 2017.  
131 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 17/05/2018.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Vegetação e clima - Sergipe. 2. Vegetação – Sensoriamento remoto. 3. Processamento de imagens – Análise. 4. Análise de séries temporais. 5. Teses. I. Nakajima Nelson Yoshihiro. II. Dalla Corte, Ana Paula. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.111(813.7)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ISIS MELO DIAS** intitulada: **RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DE SERGIPE**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação.

Curitiba, 31 de Março de 2017.

  
NELSON YOSHIHIRO NAKAJIMA  
Presidente da Banca Examinadora (UEPR)

  
NELSON CARLOS ROSOT  
Avaliador Interno (UFPR)

  
JORIM SOUSA DAS VIRGENS FILHO  
Avaliador Externo (UEPG)



Dedico este trabalho aos meus pais,  
Ana Lucia Melo Dias e José Henrique Dias  
dos Santos, com todo amor.



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ana e Henrique, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Tudo o que faço é por vocês!

Aos meus irmãos Bruno e Guga pela alegria que me proporcionaram mesmo à distância!

Aos presentes que Curitiba me deu: Karen, Vinicius, Myrcia, Cris, Igor, Linamara, Elaine e à todo o pessoal do Laboratório de Manejo pelos cafezinhos e por toda a ajuda, sobretudo nos trabalhos de Mensuração!

À Luciane, um presente trazido direto de Laranja da Terra, que fez com que a cidade cinza se tornasse mais colorida com todos os seus “aqui fia”. Obrigada!

À Camila, que chegou abraçando meu coração e fazendo todo o caminho mais feliz! Obrigada por todas as longas conversas e cafezinhos. Ainda nos encontraremos para mais cafés e reflexões “guria”!

À Nessa, por estar comigo em todos os momentos da minha vida. Por me apoiar e me incentivar sempre. Por ter passado uma temporada linda comigo em Curitiba. Obrigada pela sua amizade e pelo seu amor!

À Debora e sua vó linda, obrigada pelo apoio e por me mostrarem uma das melhores coisas da cidade: Carolina!

Ao pessoal da Economia Florestal, em especial à Medeiros, por todas as longas conversas e divertimento.

Foi incrível conhecer todos vocês!

À todos os professores do departamento, em especial ao meu orientador Nelson Nakajima, obrigada por toda a paciência e confiança durante o mestrado, e à professora Ana Paula, pelo auxílio no desenvolvimento da dissertação.

À Reinaldo e David, por terem sido sempre muito gentis e solícitos comigo!

À minha irmã Iris, por tudo, tudo mesmo. Pela companhia tanto nos momentos de solidão quanto os de compartilhamento de felicidade. Pelo amor, pela paciência, por estar sempre comigo. Amo você. Tudo por você. Obrigada nina!

Ao meu companheiro Vinicius, pelo apoio, carinho, paciência e amor ao longo do mestrado. Obrigada por ter tornado tudo mais leve e colorido na cidade cinza. Amo você, meu bem!

À todos, muito obrigada!

“Penso como seria se  
a gente não precisasse  
ser alguma coisa na vida  
digo  
seria como pensar se  
na vida a gente fosse  
alguma coisa sem precisar ser.”

Pedro Bomba - “O chão dispõe a queda”

## RESUMO

Compreender a influência das condições climáticas sobre a mudança da cobertura vegetal é essencial para subsidiar a tomada de decisões em tempos de mudança climática. O objetivo deste trabalho foi analisar a relação entre índices de vegetação e precipitação no estado de Sergipe a partir séries temporais de 2001 a 2012 e analisar os parâmetros de sazonalidade entre os índices. A área de estudo abrange o estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil. Foram utilizadas séries temporais de índices de vegetação NDVI e EVI do produto MOD13Q1 do sensor MODIS, com resolução espacial de 250 metros, e dados mensais de precipitação, com resolução espacial de 27 km, de janeiro de 2001 a dezembro de 2012. Utilizando o software R, os dados de índices de vegetação foram convertidos em dados mensais a partir do cálculo da média aritmética. A resolução espacial dos dados de precipitação foi alterada com base nos dados do índice de vegetação utilizando interpolação bilinear. Realizou-se uma regressão linear simples para obter o coeficiente de correlação ( $r$ ) entre os índices de vegetação NDVI/EVI e a precipitação, com nível de significância de 5%. A análise de sazonalidade aplicada às séries temporais de NDVI e EVI foi realizada utilizando o pacote *greenbrown* disponível no software R. O NDVI mostrou-se propenso a exibir maiores valores que o EVI. O EVI mostrou-se mais sensível às variações de cobertura vegetal. Os valores de  $r$  entre os índices de vegetação e a precipitação obtiveram um máximo de 0,57 e 0,61 para NDVI e EVI, respectivamente. O maior  $r$  para ambos os índices foi encontrado na região Semi-árida, caracterizada por fitofisionomias correspondentes à Caatinga, bem como áreas de pastagem e culturas agrícolas. Na região do Litoral Úmido, região mais antropizada do estado, foram evidenciados os menores valores de  $r$ , com índices próximos a zero, evidenciando que não há relação entre os índices e a precipitação nessa região. A baixa correlação entre a precipitação e os índices NDVI e EVI em algumas áreas pode ser resultado da conversão de áreas com presença de vegetação em áreas com outros usos no período compreendido na série temporal utilizada neste estudo. As maiores correlações foram observadas em áreas com vegetação decídua e as menores correlações, por sua vez, foram observadas em áreas urbanas e regiões de fragmentos de Mata Atlântica. A utilização da ferramenta de análise de sazonalidade a partir de índices de vegetação pode auxiliar na determinação dos diferentes usos da terra e da relação entre estes usos e a precipitação.

Palavras-chave: Sazonalidade. Índice de vegetação. Séries temporais.



## ABSTRACT

Understanding the influence of climatic conditions on changes in vegetation cover is essential to support decision-making in times of climate change. The objective of this study was to analyze the relationship between vegetation index and precipitation in the state of Sergipe using time series from 2001 to 2012 and to analyze the parameters of seasonality between the indexes. The study area covers the state of Sergipe, located in the Northeast region of Brazil. Time series of vegetation indexes NDVI and EVI of the product MOD13Q1 from MODIS sensor were used, with spatial resolution of 250 meters, and monthly data of precipitation, with spatial resolution of 27 km, from January 2001 to December 2012. Using software R, the vegetation indexes were converted into monthly data through the calculation of the arithmetic mean. The spatial resolution of the precipitation data was altered based on the vegetation index data using bilinear interpolation. A simple linear regression was performed to obtain the coefficient of determination ( $r$ ) between the vegetation indexes NDVI/EVI and the precipitation, with a significance level of 5%. Seasonality analysis applied to time series of NDVI and EVI was performed using the *greenbrown* package available in software R. NDVI was prone to exhibit higher values than EVI. EVI was more sensitive to variations in plant cover. The  $r$  values for NDVI and EVI obtained a maximum of 0.57 and 0.61, respectively. The highest  $r$  for both indexes was evidenced in the Semi-arid region, characterized by phytophysognomies corresponding to the Caatinga, as well as pasture areas and agricultural crops. In the Humid Coastal region, the area with the greatest human impact, the lowest values of  $r$  were observed, with indices close to zero, evidencing that there is no relation between the indexes and precipitation in this region. The low correlation between precipitation and NDVI and EVI indexes in some areas may be the result of the conversion of areas with presence of vegetation in areas with other uses in the period comprised in the time series used in this study. The highest correlations were observed in areas with deciduous vegetation and the lowest correlations, in turn, were observed in urban areas and fragments of Mata Atlântica regions. The use of the tool of analysis of seasonality from vegetation indexes can help in the determination of the different uses of the land and the relation between these uses and the precipitation.

Key-words: Seasonality. Temporal series. Vegetation index.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	23
FIGURA 2 - VARIAÇÃO DA REFLECTÂNCIA CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DOS PIGMENTOS FOLIARES, ESTRUTURA CELULAR E CONTEÚDO DE ÁGUA NA FOLHA.....	27
FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO DE UMA SÉRIE TEMPORAL DE IMAGEM DE SATÉLITE. (A) MATRIZ ESPACIAL BIDIMENSIONAL; (B) VARIAÇÃO TEMPORAL NO PONTO X, Y.....	38
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DE SERGIPE. ....	40
FIGURA 5 - USO DA TERRA DO ESTADO DE SERGIPE.....	41
FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DEMONSTRANDO A METODOLOGIA DO PROCESSAMENTO DE DADOS.....	48
FIGURA 7 - RESULTADO DE INTERPOLAÇÃO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO POR MEIO DO MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO (A) E BILINEAR (B). ....	49
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PRECIPITAÇÃO (mm), NO ANO DE 2001, EM SERGIPE. ....	51
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE NDVI NO ANO DE 2001, EM SERGIPE. .	54
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE EVI NO ANO DE 2001, EM SERGIPE....	55
FIGURA 11 - USO DA TERRA NA REGIÃO NOROESTE DO SEMIÁRIDO SERGIPANO. ....	57
FIGURA 12 - USO DA TERRA NA REGIÃO DO LITORAL SERGIPANO.....	59
FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE INTERCEPTO ( $B_0$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL, NDVI (A) E EVI (B), DE 2001 A 2012, EM SERGIPE. ....	62
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE COEFICIENTE ANGULAR ( $B_1$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL, NDVI (A) E EVI (B), DE 2001 A 2012, EM SERGIPE. ....	62
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ( $r$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL E NDVI, DE 2001 A 2012, EM SERGIPE. ....	64

FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ( $r$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL E EVI, DE 2001 A 2012, EM SERGIPE. ....	65
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NOS ANOS DE 2001 E 2012. ....	70
FIGURA 18 - PORCENTAGEM DE COBERTURA FLORESTAL DO ESTADO DE SERGIPE NO ANO DE 2000. ....	72
FIGURA 19 - PERDA ANUAL DE COBERTURA FLORESTAL NO ESTADO DE SERGIPE, DE 2000 A 2014. ....	73
FIGURA 20 - GANHO DE COBERTURA FLORESTAL NO ESTADO DE SERGIPE, DE 2000 A 2012. ....	74
FIGURA 21 - EXEMPLO DA INFLUÊNCIA DA MUDANÇA NA COBERTURA FLORESTAL NA RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X ÍNDICES DE VEGETAÇÃO ....	75
FIGURA 22 - DETALHE DE USO DA TERRA NO ESTADO DE SERGIPE. ....	76
FIGURA 23 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS OBTIDOS PELO GREENBROW CALCULADOS PARA AS SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E EVI. ....	77
FIGURA 24 - DETALHE DE ALGUMAS SEDES MUNICIPAIS E CORPOS D'ÁGUA EM SERGIPE E RESPECTIVA IMAGEM EM DETALHE DA MÉDIA DA SÉRIE TEMPORAL NDVI. NA CENA NDVI, OS CÍRCULOS VERMELHOS E AZUIS REPRESENTAM AS SEDES MUNICIPAIS E CORPOS D'ÁGUA, RESPECTIVAMENTE. ....	80



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E RESPECTIVOS AUTORES. FONTE: A autora (2016).....	29
TABELA 2 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA A SÉRIE TEMPORAL COMPLETA, EM SERGIPE. ....	52
TABELA 3 - PARÂMETROS DE REGRESSÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRECIPITAÇÃO MENSAL. ....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAT	- Annual Aggregated Time Series
ANA	- Agência Nacional das Águas
CBERS	- China-Brazil Earth Resources Satellite
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente.
DAEE	- Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
EOS	- Earth Observing System
ERTS-1	- Earth Resources Technology Satellite
EVI	- Enhanced Vegetation Index (Índice de Vegetação Melhorado)
FES	- Floresta Estacional Semidecidual
IAF	- Índice de Área Foliar
IAV	- Variabilidade Interanual
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
LP-DAAC	- Land Processes Distributed Active Archive Center
MODIS	- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NDVI	- Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
NetCDF	- Network Common Data Form
PVI	- Perpendicular Vegetation Index (Índice de Vegetação Perpendicular)
REM	- Radiação Eletromagnética
SAVI	- Soil Adjusted Vegetation Index (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo)
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SR	- Simple Ratio (Índice de Vegetação da Razão Simples)
STV	- Variabilidade Intra-Anual
TM	- Thematic Mapper

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	18
1.2	OBJETIVOS .....	19
1.2.1.	Geral .....	19
1.2.2.	Específicos .....	19
1.3.	HIPÓTESE .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO E SUA UTILIZAÇÃO NOS ESTUDOS AMBIENTAIS .....	20
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO ESTUDO DA VEGETAÇÃO ...	25
2.3	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	28
2.4	O SENSOR MODIS ( <i>MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER</i> ) .....	32
2.5	SÉRIES TEMPORAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO .....	36
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	40
3.2	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	42
3.3	DADOS DE PRECIPITAÇÃO .....	42
3.4	DADOS DE EXTENSÃO E MUDANÇAS DA COBERTURA FLORESTAL .....	43
3.5	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	44
3.6	ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS .....	45
3.7	ANÁLISE DE SAZONALIDADE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
4.1	SÉRIES TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO .....	49
4.2	SÉRIES TEMPORAIS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	52
4.3	ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS .....	61
4.4	ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE EVI/NDVI E PRECIPITAÇÃO COM MUDANÇAS NA COBERTURA FLORESTAL .....	71
4.5	ANÁLISE DE SAZONALIDADE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SERGIPE .....	77
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>84</b>



REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICE A – SÉRIE DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2002.....	99
APÊNDICE B – SÉRIE DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2003.....	100
APÊNDICE C – SÉRIE TEMPORAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2004.....	101
APÊNDICE D – SÉRIE TEMPORAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2005.....	102
APÊNDICE E – SÉRIE TEMPORAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2006.....	103
APÊNDICE F – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2007.....	104
APÊNDICE G – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2008.....	105
APÊNDICE H– SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2009.....	106
APÊNDICE I – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2010.....	107
APÊNDICE J – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2011.....	108
APÊNDICE K – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2012.....	109
APÊNDICE L – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2002 .....	110
APÊNDICE M – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2003 .....	111
APÊNDICE N – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2004 .....	112
APÊNDICE O – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2005 .....	113
APÊNDICE P – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2006 .....	114

APÊNDICE Q – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2007 .....	115
APÊNDICE R – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2008 .....	116
APÊNDICE S – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2009 .....	117
APÊNDICE T – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2010 .....	118
APÊNDICE U – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2011 .....	119
APÊNDICE V – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2012 .....	120
APÊNDICE W – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2002 .....	121
APÊNDICE X – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2003 .....	122
APÊNDICE Y – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2004 .....	123
APÊNDICE Z – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2005 .....	124
APÊNDICE AA – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2006 .....	125
APÊNDICE AB – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2007 .....	126
APÊNDICE AC – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2008 .....	127
APÊNDICE AD – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2009 .....	128
APÊNDICE AE – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2010 .....	129
APÊNDICE AF – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2011 .....	130
APÊNDICE AG – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2012 .....	131

## 1 INTRODUÇÃO

Compreender a dinâmica com que ocorrem as mudanças na cobertura vegetal é imprescindível para o conhecimento das alterações nos diferentes biomas terrestres ao longo do tempo e, sobretudo, para subsidiar as tomadas de decisão em tempos de mudanças climáticas.

Atualmente, as séries históricas de dados climáticos e de sensoriamento remoto permitem que sejam analisados os padrões de mudança no regime climático em uma determinada região, bem como mudanças na cobertura vegetal e no uso da terra, detecção de desmatamentos, reflorestamentos, entre outros. Torna-se possível, então, recriar cenários passados visando entender como se dá a variação sazonal tanto de dados climáticos como de cobertura vegetal e, a partir desse entendimento, prever e modelar possíveis alterações que venham a ocorrer no futuro com a variação do clima.

As dinâmicas climáticas influenciam o comportamento da vegetação, determinando os diferentes biomas e ecossistemas associados que compõem uma região. Lee et al. (2002) apontam que as mudanças sazonais na disponibilidade dos recursos naturais atuam de forma potencializadora ou limitante no crescimento da vegetação, alterando as taxas de acúmulo de biomassa e senescência. A sazonalidade climática, sobretudo da precipitação, influencia a sazonalidade da vegetação e compreender como a vegetação responde a estas variações é um ponto crítico para modelar os processos de mudanças climáticas globais (ARAI et al., 2009; BECERRA et al., 2015).

A precipitação pluvial, aquela que ocorre na forma de chuva, é a variável climática que apresenta relação direta com a vegetação. A precipitação influencia diretamente o equilíbrio da água, provocando alterações no regime de umidade do solo, tendo seu impacto no crescimento das plantas (OLIVEIRA, 2014). Ávila et al. (2014) comentam que, devido à relevância da dinâmica da distribuição espaço-temporal da vegetação, aliada à variabilidade espaço-temporal da precipitação, o entendimento dos mecanismos associados a estes processos é de fundamental importância.

A análise da relação entre precipitação e vegetação pode ser realizada com o auxílio de dados de sensoriamento remoto, devido às suas características de rapidez na aquisição de dados e cobertura global abrangente. Segundo Arai et al. (2009), há diversos estudos que indicam que os dados e técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizados no monitoramento da vegetação natural utilizando séries temporais que comparam dados espectrais da vegetação com dados de precipitação.



A análise da cobertura vegetal, sobretudo da sua dinâmica, por meio do sensoriamento remoto, baseia-se na utilização de índices de vegetação. Os estudos realizados nesta temática utilizam, principalmente, os índices NDVI e EVI. Os índices de vegetação, em geral, conseguem captar períodos de maior a menor atividade fotossintética, relacionados com maior a menor produção de folhas (produtividade primária) ao longo do tempo e, desta maneira, pode-se caracterizar a fenologia da vegetação por meio de métricas como início, fim, comprimento e amplitude do ciclo de crescimento da vegetação em escala regional (EKLUNDH; JONSSON, 2012). Para Bayma (2015), com base em uma análise multitemporal, as séries temporais de NDVI e EVI podem evidenciar se mudanças ocorridas são devidas à sazonalidade climática ocasionada pela alteração no regime de chuvas ou se ocorrem por mudanças no uso da terra (por exemplo desmatamentos) ou, ainda, se são causadas por outros motivos.

A região Nordeste do Brasil apresenta alta variabilidade espacial e temporal na pluviometria e abrange diversos padrões morfológicos de cobertura vegetal (BARBOSA, 1998). Sendo assim, o autor supracitado explana que para detectar respostas da vegetação natural com diminuição de chuvas, ou outros efeitos ambientais, é importante discriminar e quantificar a variabilidade natural do binômio vegetação/clima. A análise da variabilidade sazonal entre precipitação e vegetação pode, então, apontar o grau de relação que ocorre entre estas variáveis, visto que diferentes fitofisionomias apresentam respostas diferentes à ocorrência de chuvas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Estudos que tratam da dinâmica sazonal das variáveis climáticas e da vegetação, bem como da relação entre estas variáveis, são importantes no sentido de possibilitar o desenvolvimento e a proposição de metodologias de monitoramento da variabilidade climática e da cobertura vegetal.

Faz-se pertinente estudar a relação entre os regimes pluviométricos e os índices de vegetação, uma vez que o vigor da cobertura vegetal tende a ser alterado devido às variações na quantidade de água disponível para a vegetação. É possível, então, realizar uma análise, no tempo e no espaço, entre as séries temporais de precipitação pluvial e índices de vegetação, e verificar o grau de relação entre essas variáveis, em que uma baixa correlação, por exemplo, pode ser um sinal de desmatamento.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1. Geral

Analisar a existência da relação entre índices de vegetação e precipitação pluvial mensal no Estado de Sergipe.

### 1.2.2. Específicos

- a) Extrair informações e verificar a relação entre dados de séries temporais dos índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS e precipitação pluvial mensal, no estado de Sergipe, entre 2001 e 2012;
- b) Analisar por meio de mapas o coeficiente de correlação ( $r$ ) entre precipitação pluvial mensal e índices de vegetação NDVI e EVI, bem como comparar os mapas de  $r$  resultantes com imagens referentes à mudança na cobertura florestal de Sergipe;
- c) Avaliar parâmetros de sazonalidade entre os índices de vegetação NDVI e EVI.

## 1.3. HIPÓTESE

A precipitação pluvial mensal afeta o desempenho dos índices de vegetação e, conseqüentemente, interfere na análise de séries temporais dos índices de vegetação.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SENSORIAMENTO REMOTO E SUA UTILIZAÇÃO NOS ESTUDOS AMBIENTAIS

Em termos de definição, Meneses e Almeida (2012, p. 3) apresentam o sensoriamento remoto como sendo “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”. No entanto, a utilização das técnicas de sensoriamento remoto nem sempre permite a obtenção de imagens, mas sim de outros tipos de dados. De maneira geral, o sensoriamento remoto pode ser entendido como o conjunto de técnicas de obtenção de dados acerca de determinado alvo, de modo que o sensor esteja a uma distância remota do mesmo e, por conseguinte, não há contato físico entre ambos. Ressalta-se que o sensoriamento remoto orbital trata da aquisição de dados a partir de sensores a bordo de satélites.

Figueiredo (2005) relata que uma das primeiras aplicações do sensoriamento remoto foi para uso militar, onde câmeras fotográficas com disparador automático e ajustável eram fixadas no peito de pombos-correio para que pudessem coletar informações sobre áreas inimigas. As fotografias aéreas foram o primeiro método de sensoriamento remoto a ser utilizado, tanto que a fotogrametria e a fotointerpretação são termos muito anteriores ao termo sensoriamento remoto propriamente dito (NOVO, 2008).

A origem do sensoriamento remoto nos anos de 1960 foi devida ao grande desenvolvimento da área espacial nesses anos, conhecidos como a década da corrida espacial (MENESES; ALMEIDA, 2012). A corrida espacial foi um ponto marcante na Guerra Fria, quando os Estados Unidos e a antiga União Soviética disputavam os avanços na área do sensoriamento remoto, com lançamentos de satélites e veículos tripulados de alcance espacial. Conforme comenta Melesse et al. (2007), durante o pico da Guerra Fria, satélites espiões foram amplamente utilizados e os dados coletados eram quase que exclusivamente para fins militares. De acordo com o mesmo autor, o produto inicial do sensoriamento remoto desenvolvido para fins militares desde o seu início se expandiu para o mapeamento e, lentamente, para aplicações ambientais e de recursos naturais.

Um momento relevante no tocante ao sensoriamento remoto dos recursos terrestres foi o lançamento do primeiro satélite da série Landsat, o Landsat 1 (antigamente denominado

ERTS-1 - *Earth Resources Technology Satellite*), em 1972, pelos Estados Unidos. A série Landsat surgiu com o objetivo de realizar o mapeamento da superfície terrestre em alta resolução e existe até os dias atuais, com o lançamento do Landsat 8 no ano de 2013.

A década de noventa foi marcada pela melhoria dos programas já existentes e o surgimento de uma nova geração de satélites, com sensores capazes de obter melhor resolução espacial, o que abriu a possibilidade de estudos mais detalhados das feições da terra (MARINO JUNIOR, 2006). Segundo Morain (1998), esta década foi importante devido ao surgimento de cooperações entre países emergentes, a exemplo de Brasil e China, que lançaram o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (conhecido como CBERS - *China-Brazil Earth Resources Satellite*), o que possibilitou a aquisição de imagens digitais com menor custo para os usuários.

A década de 2000, por sua vez, é marcada pelo lançamento de satélites com sensores capacitados à aquisição de dados de alta a altíssima resolução espacial (JENSEN, 2009). De acordo com Novo (2008), não houve apenas avanços na tecnologia de construção de sensores que ficaram mais sensíveis, houve avanços, também, na capacidade de transmissão, armazenamento e processamento graças aos avanços das telecomunicações e da informática.

Os satélites podem possuir órbita alta, média ou baixa e, também, de diferentes tipos. Os principais tipos de órbita são a polar, a geossíncrona e geoestacionária. A órbita polar, paralela ao eixo da Terra, tem uma inclinação de 90° que permite a passagem do satélite sobre todo o planeta e de forma sincronizada com o movimento da Terra em torno do Sol (FLORENZANO, 2008). Por este motivo esta órbita também é denominada também de heliossíncrona ou sol-síncrona. A órbita geossíncrona é uma órbita inclinada, com um período igual ao que a Terra leva para girar em torno de seu eixo e sua altitude é de 36.000 km (REIS, 2011). A órbita geoestacionária, por sua vez, é um caso especial de órbita geossíncrona, em que a órbita é circular e se situa sobre o equador terrestre, com inclinação nula e a velocidade angular do satélite é igual à da Terra em torno de seu eixo (REIS, 2011; ZULLO JR, 2014).

Novo (2008) comenta que os sistemas de sensoriamento remoto disponíveis atualmente fornecem dados repetitivos e consistentes da superfície da Terra, os quais são de grande utilidade para diversas aplicações. Dentre estas, a mesma autora destaca as aplicações: urbanas, agrícolas, geológicas, cartográficas, oceanográficas, hidrográficas, militares, ecológicas, florestais, entre outras. No que concerne às aplicações ecológicas e florestais, Blaschke e Kux (2007) destacam que dados espaciais confiáveis e parâmetros da ecologia da paisagem são de grande importância para as tarefas de proteção do meio ambiente e da natureza. Florenzano (2011) afirma que as imagens de satélite, ao recobrirem sucessivas vezes a

superfície terrestre, possibilitam o estudo e o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente e aqueles antrópicos, como o desmatamento.

Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é a distinção e identificação das composições dos diferentes tipos de cobertura terrestre, como os tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas, entre outros (CROSTA, 1992). Além disso, Jensen (2009) aponta que uma grande vantagem do sensoriamento remoto é obter informações de áreas extensas sem que os alvos sejam perturbados no momento da aquisição das informações, visto que a presença do homem *in loco* pode alterar as características do objeto ou fenômeno em estudo. Para Chuvieco (2002), as técnicas de sensoriamento permitem, além da aquisição de imagens da superfície terrestre, o posterior tratamento destas imagens no contexto de uma determinada aplicação.

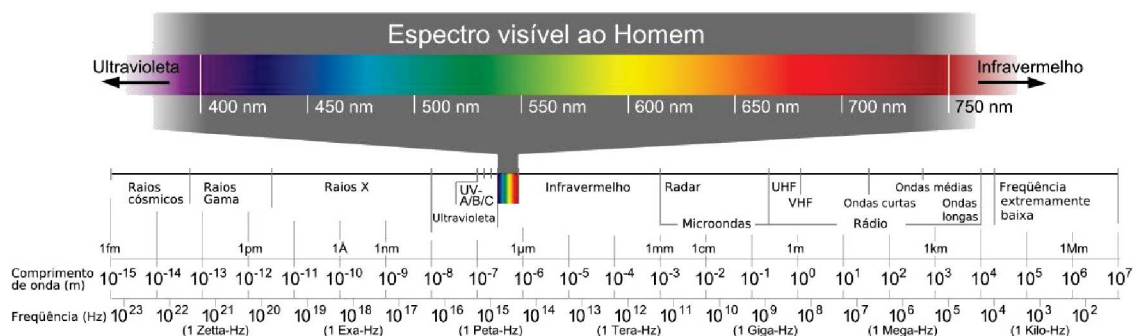
Os objetos da superfície terrestre, como por exemplo a vegetação, a água e o solo, refletem, absorvem e transmitem Radiação Eletromagnética (REM) em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas (FLORENZANO, 2011). A autora supracitada afirma ainda que, devido às variações da energia refletida por diferentes objetos da superfície terrestre, é possível distingui-los nas imagens de sensores remotos.

A energia utilizada em sensoriamento remoto é a REM (FLORENZANO, 2011), sendo esta toda a radiação que propaga a energia por meio de ondas eletromagnéticas (SCAFF, 1997). Meneses e Almeida (2012) definem ondas eletromagnéticas como a oscilação dos campos elétrico e magnético, segundo um padrão harmônico de ondas que se propagam até mesmo no vácuo, na velocidade da luz ( $\pm 300.000 \text{ km.s}^{-1}$ ). Segundo Florenzano (2011), a REM é medida em frequência e em comprimento de onda, sendo a frequência de onda o número de vezes que uma onda se repete por unidade de tempo e o comprimento de onda a distância entre dois picos de onda sucessiva.

O conjunto de todas as radiações eletromagnéticas, desde os raios gama até as ondas de rádio, forma o espectro eletromagnético, que nada mais é do que a ordenação destas radiações em função do comprimento de onda e frequência (MOREIRA, 2005). Uma exemplificação do espectro eletromagnético foi apresentada por Micha et al. (2011) e é demonstrada na FIGURA 1.



FIGURA 1 - O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.



FONTE: MICHA et al. (2011)

No que concerne à interação da REM com os alvos, de maneira geral, esta radiação é emitida por sensores e propagada através da atmosfera. Os componentes atmosféricos (gás carbônico, oxigênio, ozônio, vapor d'água e aerossóis) interferem no percurso da REM até os alvos, podendo ocasionar efeitos de absorção e espalhamento dessa energia (LILLESAND et al., 2004). Em seguida, a REM interage com o alvo, podendo ocorrer reflectância, absortância ou transmitância, com valores variando entre 0 e 1 (MORAES, 2002).

A reflectância, segundo Ponzoni et al. (2012), é a propriedade de determinado objeto de refletir a radiação eletromagnética sobre ele incidente. A reflectância é definida como a razão entre o fluxo incidente e o refletido por uma superfície (LATORRE, 1998). De acordo com Steffen (2002), a absortância é a capacidade de um alvo absorver energia radiante e, da mesma forma, a transmitância consiste na capacidade de um alvo transmitir energia radiante. A reflectância, a absortância e a transmitância costumam ser expressas em porcentagem ou por um número entre zero e um (STEFFEN, 2002). A energia refletida ou emitida pela superfície terrestre é captada por sensores eletrônicos e transformada em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra e são transformados em dados em forma de gráficos, tabelas ou imagens (FLORENZANO, 2011).

No âmbito do sensoriamento remoto, conforme apresentado por Figueiredo (2005), sensores são os instrumentos que compõem o sistema de captação de dados e imagens, cuja evolução tem contribuído para a coleta de imagens de melhor qualidade e de maior poder de definição. A função de um sensor remoto consiste em captar e medir a quantidade de energia refletida e/ou emitida por alvos, e, assim, obter informações sobre a natureza e condições destes alvos, de maneira a associá-los com o mundo real (CENTENO, 2004).

Os sensores podem ser classificados quanto à fonte de energia utilizada em ativos e passivos. Os sensores passivos utilizam uma fonte de energia externa, a energia solar, e, por

consequência, apenas podem ser utilizados para detectar a radiação eletromagnética quando a fonte energética está disponível. Os sensores ativos, por sua vez, têm a capacidade de fornecer a própria energia para realizar o imageamento, como os radares, por exemplo. Este tipo de sensor possui a vantagem de poder ser utilizado a qualquer momento, independente da energia solar; no entanto, necessita de uma grande quantidade de energia.

Os sistemas sensores podem ser classificados, ainda, quanto ao sistema operacional, ou produtos que geram, em sistemas imageadores ou não. Os sensores imageadores permitem que seja gerada uma imagem bidimensional e, em alguns casos, tridimensional da superfície imageada (NOVO, 2008). Os sistemas não-imageadores medem a radiância do alvo e fornecem produtos apenas na forma numérica ou de gráficos. Os sensores não-imageadores se caracterizam por não serem configurados para fornecer uma imagem bidimensional do terreno (NOVO, 2008).

A obtenção de informações referentes à cobertura terrestre depende da qualidade dos sensores remotos, relacionada às resoluções espacial, espectral, temporal e radiométrica. A resolução espacial consiste na dimensão do *pixel*. Segundo Florenzano (2002), a resolução espacial pode ser definida como o menor elemento ou superfície distinguível por um sensor. Existem sensores com resolução espectral de 250 m, ou seja, a área de *pixel* é de 62500 m<sup>2</sup> (250 m x 250 m), como é o caso do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) do satélite TERRA. A resolução espacial do sensor *Thematic Mapper* (TM) da série Landsat é de 30 m; logo, o *pixel* possui uma área de 900 m<sup>2</sup>. Atualmente, existem sensores a bordo de satélites com resolução espacial submétrica.

A resolução espectral, por sua vez, corresponde ao número e a largura das bandas espectrais que o sensor é capaz de discriminar. Segundo Chuvieco (1996), um sensor será tanto mais sensível quanto maior o número de bandas que ele tiver, uma vez que isto facilita a caracterização espectral das distintas coberturas. Portanto, quanto maior o número de bandas e menor a largura de cada banda, maior a possibilidade de discriminação do alvo na cena e melhor a resolução espectral.

Na determinação das propriedades radiométricas da superfície, é necessário utilizar uma grandeza que defina a intensidade radiante em cada ponto, sendo esta grandeza denominada radiância (LATORRE, 1998). Segundo Martins (2006), a radiância é o fluxo de energia sendo transmitido, recebido ou emitido em um ponto específico em uma direção particular. Luzes que atingem um determinado ponto de uma superfície, vindos de uma determinada direção são o cerne da geração de imagens (MARTINS, 2006).



A resolução radiométrica está relacionada à faixa de valores numéricos associados aos *pixels* (FIGUEIREDO, 2005). De acordo com o mesmo autor, este valor representa a intensidade da radiação proveniente da área do terreno correspondente ao *pixel* e é chamado de nível de cinza. O número de níveis de cinza é sempre em potência de 2. Desse modo, se um sensor apresenta resolução radiométrica de 8 bits, por exemplo, significa que a imagem apresentará 256 ( $2^8$ ) níveis de cinza, variando de 0 a 255.

A resolução temporal está relacionada ao período de tempo em que o satélite volta a visitar uma mesma área (FIGUEIREDO, 2005). Segundo Melo (2002), este ciclo está relacionado às características orbitais da plataforma (altura, velocidade, inclinação), e ao ângulo total de abertura do sensor. Este tipo de resolução é relevante no tocante ao uso do sensoriamento remoto no monitoramento de alvos, como efeito da sazonalidade ou de mudanças climáticas na cobertura vegetal, entre outros.

Atualmente, os novos sensores orbitais permitem a observação da superfície terrestre nas mais diversas escalas temporais, espaciais e espectrais, fornecendo fontes de dados confiáveis e frequentes sobre a paisagem (MORAIS; FERREIRA, 2014). Melesse et al. (2007) explicam que a disponibilidade de dados provenientes de sensoriamento remoto de diferentes sensores de várias plataformas, com grande gama de resoluções, fez do sensoriamento remoto, talvez, a melhor fonte de dados para aplicações de grande escala e estudo.

## 2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO ESTUDO DA VEGETAÇÃO

A pesquisa relacionada à vegetação propicia o entendimento da estrutura e dinâmica das formações vegetais, além de embasar o planejamento de ações que subsidiam o manejo e a preservação dos ambientes naturais. A cobertura vegetal apresenta-se na natureza em diversas formas, com diferenças na estrutura das copas, no estado fenológico, etc. e são estas diferenças que permitem, muitas vezes, discriminar os diferentes tipos de cobertura vegetal (NOVO, 2008).

Segundo Ponzoni et al. (2002), a busca do conhecimento do processo de interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação tem sido motivada, principalmente, pela necessidade de se correlacionar os padrões, ou mesmo dados radiométricos, presentes em imagens orbitais com parâmetros relevantes da vegetação. A informação espectral contida nas imagens orbitais é uma importante ferramenta para pesquisas que envolvem estudos quantitativos e qualitativos da vegetação, conferindo maior praticidade na aquisição de informações.

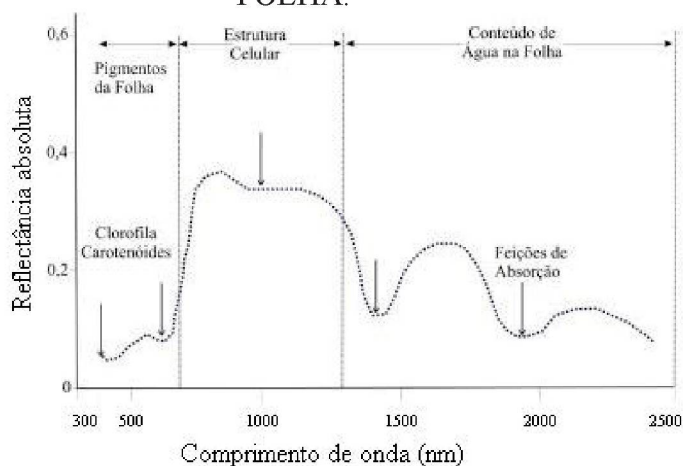
Formigoni et al. (2011) afirmam que o monitoramento da cobertura vegetal, utilizando produtos e técnicas de sensoriamento remoto, é embasado na necessidade de análise dos recursos vegetais, contribuindo para o acompanhamento temporal e a obtenção de informações como a distribuição dos tipos de vegetação, a fenologia, a estrutura do dossel, as condições de estresse e as mudanças de uso do solo. O desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto tem permitido a aquisição de diversas informações sobre a superfície terrestre, contribuindo, principalmente, nas investigações dos parâmetros biofísicos da vegetação, como Índice de Área Foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila e atividade fotossintética, dando suporte às análises temporais, edáficas e fenológicas da vegetação (VIGANÓ et al., 2011).

Quando se pretende utilizar o sensoriamento remoto para a obtenção de informações da cobertura vegetal de uma região, deve-se levar em consideração a interação da energia solar com a vegetação, que se dá principalmente através dos pigmentos contidos nas folhas (CINTRA, 2007). Furtado et al. (2013) apontam que alguns dos fatores que limitam o mapeamento de vegetação, a partir de dados de sensoriamento remoto, são inerentes à própria vegetação, como a estrutura física, o arranjo espacial dos indivíduos e a arquitetura de dossel. Ademais, fatores biofísicos da vegetação também influenciam no seu comportamento espectral, bem como a quantidade de umidade presente nas folhas das plantas, a idade e a orientação da encosta onde se localizam (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A radiação solar que chega à superfície da terra interage com a planta e resulta em processos de absorvância, reflectância e transmitância. Segundo Moreira (2005), uma parte da radiação (aproximadamente 50% do total que chega até a planta) é absorvida pelos pigmentos contidos na folha e participa na fotossíntese, altera estruturas moleculares, acelera reações, como foto-oxidação das xantofilas, ou ainda destrói estruturas de uma molécula. Outra parte é refletida pelas folhas, e uma terceira parte sofre o processo de transmissão, através das camadas de folhas que compõem a copa e daquelas que constituem a folha, como a cutícula, o parênquima lacunoso e paliçádico, etc. (MOREIRA, 2005). Ressalta-se que as quantidades de energia absorvida, transmitida ou refletida pelas folhas das plantas podem diferir de espécie para espécie e, inclusive, dentro de uma mesma espécie, porque existem, dentre outros, os fatores ambientais que influenciam direta ou indiretamente essa interação (MOREIRA, 2007).

Conforme cita Novo (2008), a curva espectral da vegetação fotossinteticamente ativa pode ser decomposta em função dos fatores que condicionam o seu comportamento (FIGURA 2).

FIGURA 2 - VARIAÇÃO DA REFLECTÂNCIA CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DOS PIGMENTOS FOLIARES, ESTRUTURA CELULAR E CONTEÚDO DE ÁGUA NA FOLHA.



FONTE: PONZONI; SHIMABUKURO (2007).

A autora supramencionada descreve a variação da reflectância na vegetação, como segue:

a) De 400 a 700 nanômetros (nm), a reflectância é baixa (< 20%), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 480 nm (carotenóides) e em 620 nm (clorofila). Em 560 nm, há um pequeno aumento de reflectância, não atingindo, porém, níveis superiores a 20%. É a reflectância responsável pela cor verde da vegetação. É nesta região do espectro eletromagnético que a radiação é absorvida por estes pigmentos foliares para realização da fotossíntese. Isto explica os valores reduzidos de reflectância na região do visível quando se considera uma área com cobertura vegetal mais densa. Conforme citado por Ponzoni e Shimabukuro (2010), quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor é a reflectância na região do visível, devido à maior presença de pigmentos fotossintetizantes.

b) De 700 nm a 1300 nm, a região é dominada pela alta reflectância da vegetação (entre 30% e 40%), devido à interferência da estrutura celular (estrutura do mesófilo). Esta é a região do infravermelho próximo. Os valores de reflectância são mais elevados devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética no dossel (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010) e é nesta região onde geralmente são realizados os estudos de vegetação. Furtado et al. (2013) comentam que a vegetação apresenta comportamento espectral antagônico nas bandas do vermelho e infravermelho próximo.

c) Entre 1300 nm e 2500 nm, região do infravermelho médio a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água nas folhas. Ponzoni e Shimabukuro (2009) comentam que análises da cobertura vegetal ganharam grande impulso com o advento do



sensoriamento remoto, com o objetivo de auxiliar a manutenção da biodiversidade por meio da avaliação do comportamento e dinâmica da vegetação. O sensoriamento remoto tem contribuído com informações importantes sobre a localização, tipo e condições da cobertura vegetal (SHIMABUKURO et al., 2009).

Ponzoni e Rezende (2004) citam que, apesar da limitação intrínseca à aplicação dos dados de sensoriamento remoto, as relações entre parâmetros biofísicos da vegetação e dados radiométricos orbitais podem, em alguns casos, surpreender positivamente, dependendo da escala na qual os dados são coletados e correlacionados. Para Bayma (2015), são necessárias técnicas e métodos de processamento de dados de sensoriamento remoto da vegetação à disposição da comunidade científica para observação dos ecossistemas terrestres.

No que concerne aos estudos florestais, Costa et al. (2011) comentam que o sensoriamento remoto tem sido muito utilizado em estudos de processos abrangentes, relacionando a transformação da paisagem, o desmatamento e a fragmentação de áreas florestais. Cintra (2007) comenta que a utilização de imagens de satélites no monitoramento de florestas é de grande importância para avaliar a cobertura e dinâmica da floresta e a detecção de alterações ambientais causadas por fatores naturais ou de origem antrópica.

## 2.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação podem ser definidos como transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, utilizados para realçar o comportamento espectral da vegetação (EPIPHANIO et al., 1996). Esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e IAF, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI et al., 2012).

Ponzoni et al. (2012) ressaltam que a fundamentação da proposição desses índices reside no comportamento antagônico da reflectância da vegetação nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Para Silva (2004), a lógica dos índices de vegetação baseia-se não somente no fato de que a energia refletida no vermelho e no infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação, mas, também, na suposição de que a utilização de duas ou mais bandas espectrais pode minimizar fontes de ruídos que afetam a resposta da vegetação.

A aplicação da técnica de índices de vegetação tem facilitado os estudos relacionados à vegetação, tendo por objetivo o realce das variações de sua densidade, facilitando a identificação e mapeamento de áreas vegetadas e áreas não vegetadas (MENESES, 2011). Esses índices permitem realizar estudos, tanto ao longo do tempo quanto no espaço, sobre as condições da cobertura vegetal, descrevendo e reconstituindo dados de variações fenológicas e discriminando variações interanuais da vegetação nas escalas global e regional (RUDORFF et al., 2007). Conforme apresentado por Liu (2007), a utilização de índices de vegetação no monitoramento da superfície terrestre apresenta várias vantagens, sendo as principais relacionadas ao fato de, por serem relativos, os valores calculados compensam a variação da intensidade de radiação, e também pelo fato de que ocorre correção parcial dos efeitos atmosféricos e das variações dos ângulos de visada de sensores e dos ângulos solares.

Feitosa et al. (2004) discorrem sobre as limitações nos índices de vegetação, que resultam da influência da atmosfera e dos diferentes substratos do solo. Outras características do solo, como textura, cor, umidade, temperatura, bem como as condições de sombreamento, espaçamento e quantidade de matéria orgânica influenciam sobremaneira as estimativas dos índices de vegetação (HUETE, 1988).

Um índice de vegetação ideal minimiza os efeitos variáveis de brilho de fundo enquanto enfatiza variações das medidas decorrentes da variação da densidade de vegetação e não tem interferências da atmosfera (BARBOSA, 1998; LIU, 2006). Diversos índices têm sido propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, sobretudo na região do visível e do infravermelho próximo (BORGES, 2010). A TABELA 1 apresenta os principais índices de vegetação citados na literatura.

TABELA 1 - PRINCIPAIS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E RESPECTIVOS AUTORES.

FONTE: A autora (2016)

Índice de Vegetação	Autor
Índice de Vegetação da Razão Simples (SR)	Jordan (1969)
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	Rouse et al. (1973)
Índice de Vegetação Perpendicular (PVI)	Richardson e Wiegand (1977)
Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)	Huete (1988)
Índice de Vegetação Realçado (EVI)	Huete et al. (1997)

Considerado um dos índices mais utilizados, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) utiliza as faixas espectrais



do vermelho e infravermelho próximo e relaciona seus resultados com propriedades biofísicas da floresta, como índice de área foliar, biomassa, área basal, entre outros (WANG et al., 2004). O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) e é a razão entre a diferença das reflectividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas mesmas reflectividades (BORATTO; GOMIDE, 2013), conforme apresentado na EQUAÇÃO 1:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

$\rho_{IVP}$  = Fator de reflectância bidirecional no infravermelho próximo;

$\rho_V$  = Fator de reflectância bidirecional no vermelho.

Os valores de NDVI variam de -1 a 1. Para alvos terrestres os valores menores e iguais a zero referem-se a *pixels* não vegetados e os valores próximos de 0,8 referem-se à vegetação mais densa (GINCIENE; BITENCOUT, 2011). De acordo com Tucker e Sellers (1986), o NDVI é sensível à presença da vegetação, pois a vegetação sadia usualmente diminui a resposta no vermelho devido à absorção por clorofila e aumenta a resposta no infravermelho próximo devido ao espalhamento pelos tecidos da folha. Desta forma, alvos diferentes da vegetação, como água, solo exposto, etc., são facilmente distinguíveis devido às suas assinaturas espectrais características (ALMEIDA; BATISTA, 1998). No tocante à capacidade que o NDVI possui de obter informações sobre parâmetros biofísicos da vegetação, esse índice apresenta sensibilidade quanto às variações do brilho do solo, à sensibilidade da atenuação atmosférica e à saturação nos casos em que há valores elevados de biomassa (BAYMA, 2015).

Conforme comenta Sousa Júnior (2010), o NDVI é mais utilizado para a identificação e monitoramento de regiões afetadas pela seca tanto em escala regional como nacional e global. No estudo realizado por Yang et al. (1998), os autores identificaram correlações significativas entre o NDVI, calculado anualmente e mensalmente, e a seca relacionada aos fatores climáticos. No entanto, Tian et al. (2016) comentam que existem várias limitações quanto à estimativa de biomassa em terras secas por meio do NDVI. Sob essa perspectiva, o estudo de Tadesse et al. (2005) demonstrou que o NDVI, apesar de ser um indicador eficaz de umidade e das condições da vegetação, apresenta uma defasagem entre a ocorrência de uma seca e a mudança nos seus valores sendo, portanto, um indicativo que este índice não é apropriado para monitorar as condições de seca de uma cultura em tempo real.

Desenvolvido para o sensor MODIS e visando suprir as limitações do NDVI, foi criado o EVI (*Enhanced Vegetation Index* – Índice de Vegetação Realçado). O EVI foi proposto por Huete et al. (1997) e, segundo Jiang et al. (2008), seu desenvolvimento teve por objetivo atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação, contendo um fator de ajuste para solos e coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis. O EVI é calculado por meio da EQUAÇÃO 2, proposta por Justice et al. (1998):

$$EVI = G \frac{(NIR - Vermelho)}{(L + NIR + C1vermelho - C2azul)} \quad \text{EQUAÇÃO 2}$$

Em que:

EVI = Índice de Vegetação Realçado;

G = fator de ganho;

L = fator de ajuste para o solo;

C1 e C2 = coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera;

NIR (Near Infrared) = reflectância da região espectral do infravermelho próximo;

Vermelho = reflectância da região espectral do vermelho;

Azul = reflectância da região espectral do azul.

Os valores dos coeficientes dos coeficientes são L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5 e o fator de ganho G = 2,5 (Huete et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).

O EVI é mais sensível às variações na estrutura do dossel, além de possuir maior sensibilidade em regiões com alta produção de biomassa e reduzir a influência atmosférica e do solo (GAO et al., 2000; JIANG et al., 2008). Didan e Huete (2006) comentam que, com o uso de banda situada no comprimento de onda do azul do espectro eletromagnético, é possível minimizar interferências atmosféricas, diminuindo as variações de fundo do dossel, ao mesmo tempo em que torna possível uma melhor discriminação e quantificação das áreas que contenham vegetações mais densas.

Em estudo realizado por Formigoni et al. (2011), os autores realizaram uma análise temporal do EVI nos principais biomas do Nordeste brasileiro e concluíram que o EVI foi capaz de mostrar a diferença sazonal entre os diferentes biomas estudados. Ferreira et al. (2005) analisaram a sazonalidade do bioma cerrado usando NDVI e EVI do sensor MODIS e observaram que o EVI apresentou um melhor desempenho para a discriminação sazonal da cobertura vegetal, por ser mais sensível a pequenas variações do índice de área foliar. Ginciene

e Bitencourt (2011), avaliando o desempenho do NDVI e do EVI em uma análise temporal dos fragmentos de floresta estacional semidecidual, concluíram que o EVI se mostrou mais sensível que o NDVI. Os autores observaram que o EVI se apresenta mais sensível e adequado à detecção de mudanças ocorridas ao longo do tempo na floresta estacional semidecidual.

De acordo com Paiva et al. (2010), os índices de vegetação disponibilizados nos produtos MODIS mostram-se sensíveis à detecção da sazonalidade ao longo dos meses do ano, indicando ser uma boa ferramenta para estudos do comportamento fenológico da vegetação. A estreita correlação entre a dinâmica espaço-temporal da vegetação e os índices de vegetação, corrobora seu potencial no monitoramento da cobertura vegetal sobre extensas áreas (RISSO et al., 2009).

Teixeira (2003) comenta que os índices de vegetação podem ser utilizados, dentre outros fins, para verificar as consequências da variabilidade climática interanual sobre a vegetação, assim como auxiliar no entendimento e análise da variação sazonal da vegetação. Feitosa et al. (2004) citam que os índices de vegetação têm sua importância também relacionada à climatologia, visto que possibilitam conhecer a repartição e a densidade de ocupação do solo pela vegetação, que tem grande influência no ciclo hidrológico, e do carbono.

#### 2.4 O SENSOR MODIS (*MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER*)

O comitê espacial Norte Americano (NASA) mantém um programa de longa duração de pesquisas de observação da superfície terrestre, oceanos e atmosfera, e suas interações, incluídas nas medições do “*Earth Observing System*” (EOS), financiado pelo programa da NASA “*Earth Science Enterprises*” (LATORRE et al., 2003). O EOS é composto de uma série de satélites de órbita polar coordenados, destinados a monitorar e compreender os principais componentes do sistema climático e suas interações por meio de observações globais de longo prazo (NASA, 2016a).

Pertencentes ao programa EOS, os satélites TERRA (EOS AM-1) e AQUA (EOS PM-1) foram lançados em dezembro de 1999 e maio de 2002, respectivamente. De acordo com informações disponibilizadas pela NASA, a órbita do satélite TERRA ao redor do planeta é sincronizada de modo que ele passa de norte a sul pelo equador na parte da manhã (10:30h), enquanto o satélite AQUA passa pelo equador de sul para o norte no período da tarde (13:30) (NASA, 2016b).



O principal instrumento sensor a bordo destes dois satélites é o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). De acordo com Justice et al. (2002), este sensor foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diária. O sensor MODIS está desempenhando um papel vital no desenvolvimento de modelos de sistema validados, globais e interativos, capazes de prever alterações globais com precisão suficiente para auxiliar na tomada de decisões sólidas no que diz respeito à proteção do ambiente (NASA, 2016b).

O sensor MODIS possui um total de 36 bandas espectrais. As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região situada entre 405 nm a 2155 nm do espectro eletromagnético, de forma que as bandas 1-7 são utilizadas para aplicações terrestres, as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas (ANDERSON et al., 2003). As bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660nm a 14385nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (JUSTICE et al., 2002). Além disso, o MODIS oferece um contraste bom e sofre menos influência atmosférica por possuir a banda do infravermelho próximo mais estreita e bem posicionada (MOREIRA, 2000). Segundo Anderson et al. (2003), este sensor possui um maior número de bandas espectrais que os outros imageadores de baixa/média resolução espacial já lançados.

Ponzoni et al. (2012) descrevem que o sensor MODIS orbita a Terra a uma altitude de 705 km e, em razão do ângulo de 55° de observação para cada lado transversal à trajetória de sua órbita, produz imagens de uma superfície de 2.330 km. Com relação à resolução espacial, o sensor MODIS possui três resoluções distintas, sendo 250 m para as bandas 1 e 2 (vermelho e infravermelho próximo); 500 m para as bandas 3-7; e 1000 m para as demais bandas.

O tempo de revisita do sensor MODIS é de dois dias. Esta resolução temporal, como cita Machado et al. (2004), torna as imagens provenientes deste sensor uma fonte de informações espaciais atrativa e adequada para o monitoramento de grandes regiões. Corroborando esta afirmativa, Bayma (2015) explica que o sensor MODIS possui características que permitem acompanhar as mudanças nos alvos terrestres em alta escala temporal, tendo em vista a disponibilidade de produtos gerados. Desse modo, tem-se uma oportunidade única de caracterizar as condições da superfície terrestre e a dinâmica da cobertura vegetal de várias regiões do planeta, dada a repetitividade de informações geradas (JUSTICE; TOWNSHEND, 2002).

Uma característica importante do MODIS é a disponibilização dos produtos com correção dos efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc.) e com georreferenciamento (CARVALHO JÚNIOR et al., 2008), ou seja, os dados do MODIS se encontram em um formato pronto para o uso (FERREIRA et al., 2007). Outrossim, Soares et al. (2007) apontam que as imagens provenientes do MODIS apresentam alta qualidade geométrica, permitindo o acompanhamento e monitoramento precisos de alterações ocorridas na superfície terrestre. Conforme explana Bayma (2015), a utilidade deste sensor se mostra mais evidente ao considerar que, nos levantamentos realizados em escala regional, a ocorrência de nuvens é um fator limitante.

Quanto à resolução radiométrica, Strahler et al. (1996) descrevem que o sensor MODIS fornece uma alta sensibilidade radiométrica, específicas para as necessidades da comunidade científica, fornecendo uma excelente resposta para cada banda. Em ambas as plataformas (TERRA e AQUA), a aquisição de dados brutos se dá em 12 bits e, somente após seu processamento, são disponibilizadas aos usuários em 16 bits (BAYMA, 2015).

Os conjuntos de dados brutos são divididos em cinco níveis hierárquicos de processamento, divididos de 0 a 4 (JUSTICE et al., 2002):

a) Nível 0: este nível retrata a imagem em seu estado bruto, sem tratamento de espécie alguma. Não está disponível ao usuário, não constando, portanto, das listas de produtos-padrão do sensor MODIS.

b) Nível 1 (1A): contém uma soma de base de dados de 36 canais do MODIS, utilizado como dado de entrada para geolocalização, calibração e processamento. Indicadores de qualidade são adicionados aos dados para indicar alguma perda ou *pixels* de baixa qualidade. Medidas no visível, infravermelho próximo e médio são feitas apenas durante o dia, enquanto que as medidas na faixa do infravermelho termal são feitas tanto de dia, quanto de noite.

c) Nível 1 (1B): os produtos contêm os dados de calibração e geolocalização da abertura de radiância para as 36 bandas geradas pelo nível 1A. Em adição, a reflectância bidirecional pode ser determinada para bandas reflectivas solares (1-19, 26) através do conhecimento da irradiação solar. Dados adicionais são fornecidos, incluindo as estimativas de qualidade, de erro e dados de calibração.

d) Nível 2: os produtos deste nível são derivados de radiâncias calibradas de produtos prévios MODIS e são armazenados em um espaço original do sensor. Os produtos conhecidos como nível 2G (L2G) são gerados a partir de um conjunto de dados de um simples dia do nível 2, reorganizados e armazenados em uma grade baseada na Terra, preservando todas as amostras dos dados originais do nível 2.



e) Nível 3: neste nível os produtos são espacialmente reamostrados e temporariamente compostos para produzir uma simples estimativa das variáveis geofísicas para cada grade de localização. As escalas de tempo dos produtos deste nível variam de um simples dia para um ano inteiro.

f) Nível 4: os produtos deste nível são gerados pela incorporação dos dados MODIS em modelos para se estimar as variáveis geofísicas.

De acordo com o apresentado por Anderson et al. (2003), os produtos de georreferenciamento do sensor MODIS definem as coordenadas geodésicas, elevação do solo (altitude), e ângulos zenitais solar e azimutal para cada amostra de 1 km do MODIS. De acordo com Latorre et al. (2003), a menor unidade de processamento referente aos níveis 2G, 3 e 4 se configura em um *tile*, correspondente a uma área geocodificada de 1.200 km x 1.200 km, na projeção senoidal.

O sensor MODIS gera diversos produtos, podendo-se citar: cobertura de neve, reflectância e temperatura da superfície, anomalias termais, índices de vegetação, índice de área foliar, dinâmica da cobertura terrestre, entre outros. O objetivo dos produtos gerados pelo MODIS está, basicamente, na quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antropomórficos, auxiliando nos diversos modelos regionais e globais existentes (STRAHLER et al., 1999).

Os produtos MOD 13, MOD 15 e MOD 17 referem-se aos produtos do sensor MODIS relacionados à vegetação, são eles: grades de índices de vegetação (NDVI e EVI), IAF e fotossíntese líquida e produtividade primária, respectivamente. O produto MOD13Q1 apresenta uma síntese do máximo valor do índice de vegetação (NDVI e EVI) com intervalo de 16 dias e resolução espacial de 250 m. O algoritmo para a geração dos índices de vegetação MODIS opera *pixel a pixel* e leva em conta múltiplas observações em um período de 16 dias; o processo de “*compositing*” seleciona o *pixel* mais próximo possível do nadir, minimizando assim eventuais distorções espaciais e radiométrica, ou com o menor grau de contaminação por aerossóis (VAN LEEUWEN et al., 1999).

*Pixels* contaminados por nuvens e ângulos de visada fora do nadir (*off-nadir*) são considerados de baixa qualidade enquanto *pixels* livres de nuvens, no nadir e com aerossóis atmosféricos residuais mínimos, representam os *pixels* de melhor qualidade (SILVA, 2004). Devido à sobreposição de órbitas e múltiplas observações em um único dia, um máximo de 64 observações podem ser obtidas (FERREIRA et al., 2003), de tal forma que são selecionadas as melhores imagens entre um total de 64 possíveis (RIBEIRO et al., 2007).

De acordo com Latorre et al. (2003), mapas descrevendo variações espaciais e temporais da atividade da vegetação são derivados a cada 8, 16 e 30 dias para um monitoramento preciso da sazonalidade, sendo que, seus produtos são reamostrados para fornecer: dados livres de nuvens, atmosféricamente corrigidos e mapas de vegetação ajustados ao nadir, com resoluções de 250 m, 1Km e 25 Km.

Conforme Anderson et al. (2003), os objetivos dos índices de vegetação do MODIS são:

- a) Gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens;
- b) Maximizar a cobertura global e temporal na resolução espacial mais fina possível;
- c) Padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo;
- d) Assegurar a qualidade e a consistência dos dados;
- e) Descrever e reconstituir dados de variações fenológicas;
- f) Discriminar com precisão variações interanuais na vegetação.

De acordo com Victoria et al. (2009), os índices de vegetação provenientes do sensor MODIS são de grande valia para estudos que utilizam séries temporais de imagens de sensores remotos. A alta resolução temporal do MODIS é um aspecto determinante em estudos fenológicos e na discriminação espectral, podendo ser utilizada para obter conhecimento aprofundado a respeito dos ciclos sazonais da vegetação em biomas com forte contraste sazonal (LIESENBERG et al., 2007), além da detecção de mudanças de uso e cobertura do solo (HUETE et al., 2002).

## 2.5 SÉRIES TEMPORAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO

De acordo com Anderson et al. (2003), os estudos de detecção de mudanças por meio de sensoriamento remoto são baseados no fato de que distúrbios produzem variações detectáveis na resposta espectral do alvo ou do fenômeno estudado. Os alvos da superfície podem ter sua resposta espectral alterada com o tempo, em decorrência de modificações de fatores externos ao alvo (iluminação, alterações antrópicas, etc) ou de modificações próprias de sua natureza (NOVO, 2008). Ainda segundo a mesma autora, os alvos da superfície terrestre podem estar continuamente transformando-se, sendo que as taxas de transformação variam no tempo e no espaço. As imagens de satélites mostram os ambientes e a sua transformação e destacam os impactos causados por fenômenos naturais ou antrópicos, proporcionando uma

visão de conjunto e dinâmica de extensas áreas da superfície terrestre (FLORENZANO, 2002; FLORENZANO, 2011).

Muitas aplicações em monitoramento ambiental exigem a cobertura frequente da mesma área (MELESSE et al., 2007). Devido à cobertura sinóptica e alta periodicidade que as observações de satélite proporcionam, os dados de sensoriamento remoto possuem um potencial significativo no monitoramento da dinâmica da vegetação desde o nível regional até o global, no tempo e no espaço (ZHANG et al., 2003; BAYMA, 2015). Por meio da análise de séries temporais, é possível detectar tendências na assinatura temporal, permitindo diferenciar uma mudança natural, geralmente temporária, de uma mudança ocorrida por atividade antrópica, que pode ser permanente (COPPIN et al., 2004).

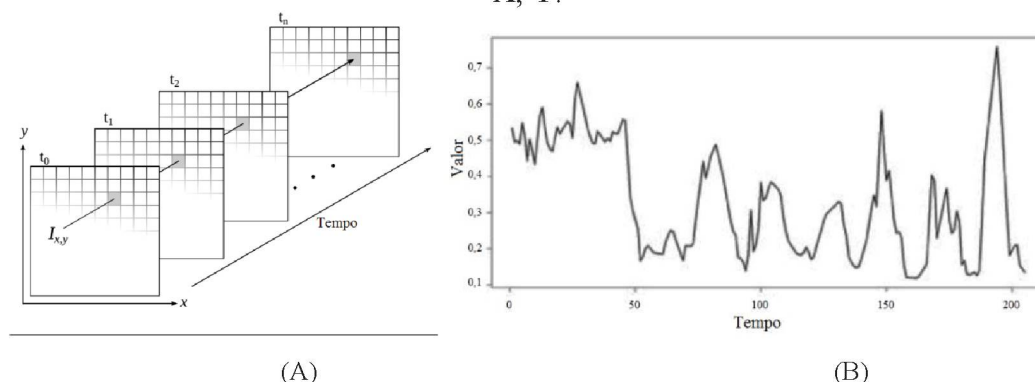
No âmbito do sensoriamento remoto, visando possibilitar o monitoramento da cobertura vegetal em diferentes resoluções temporais, faz-se necessário o estudo da análise de séries temporais de imagens de satélites. Ressalta-se que, para estas análises, a ordem dos dados é essencial. Para Viali (2002), na Estatística existem situações de estudo onde os dados de interesse são obtidos em instantes sucessivos de tempo e, quando ordenados no tempo, estes dados são denominados de série temporal. Ehlers (2009) descreve os principais objetivos de se estudar séries temporais sob uma abordagem geral, a saber:

- a) Descrever propriedades da série, como o padrão de tendência, existência de variação sazonal ou cíclica, observações discrepantes (*outliers*), alterações estruturais (mudanças no padrão da tendência ou da sazonalidade), etc.;
- b) Usar a variação em uma série para explicar a variação em outra série;
- c) Predizer valores futuros com base em valores passados; e
- d) Controlar processos uma vez que os valores da série temporal medem a qualidade de um processo de manufatura.

Para Amaral et al. (2014), “Séries temporais de imagens de satélites” é um termo utilizado para definir uma sequência de imagens de satélite que capturam a mesma cena, em intervalos de tempo iguais. Conforme aponta Stephan (2015), uma sequência de imagens de satélite com frequência temporal permite a composição de séries temporais para cada *pixel* que mostra a variação dos índices de vegetação no tempo (FIGURA 3).



FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO DE UMA SÉRIE TEMPORAL DE IMAGEM DE SATÉLITE. (A) MATRIZ ESPACIAL BIDIMENSIONAL; (B) VARIAÇÃO TEMPORAL NO PONTO X, Y.



FONTE: Adaptado de MAUS (2014).

Para séries temporais de EVI e NDVI do sensor MODIS, é realizado o processamento dos valores de reflectância de superfície coletados a cada 16 dias, de forma que somente os melhores *pixels* são selecionados para compor somente um índice de vegetação daquele intervalo de tempo (BAYMA, 2015). Em estudos em escala regional, sobretudo os realizados utilizando composições multitemporais, é possível realizar as análises das mudanças no uso e cobertura da terra por meio de índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS, capazes de evidenciar variações sazonais, interanuais e de longo termo de parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação (HUETE et al., 2002; CORREIA et al., 2006).

Huete et al. (2002) avaliaram uma série temporal de NDVI e EVI do sensor MODIS, com resolução espacial de 500 m e 1 km, em vários tipos de fitofisionomias (exemplo: floresta, pastagem e matagal) e constataram que as assinaturas multitemporais dos índices de vegetação, com ambas as resoluções, representaram bem a fenologia de cada bioma. Os autores supracitados concluíram que os índices de vegetação foram mais fortemente correlacionados com pastagens e matagal do que com as florestas, e as suas séries dinâmicas variaram de acordo com regime climático.

Em estudo realizado por Wardlow et al. (2007), utilizando séries temporais de NDVI e EVI do sensor MODIS com resolução espacial de 250 m no Estado do Kansas, Estados Unidos, os autores concluíram que os índices de vegetação representaram variações sazonais semelhantes e foram altamente correlacionadas para todas as culturas analisadas, encontrando, porém, algumas diferenças sutis, mas consistentes entre os dois índices. De acordo com Victoria et al. (2009), uma série temporal de imagens NDVI pode ser utilizada como forma de identificar determinadas coberturas vegetais. A informação espectral e temporal das séries temporais de NDVI tem sido utilizada para monitorar as condições da vegetação (JAKUBAUSKAS et al.,



2002; REED et al., 1996) e eventos fenológicos relevantes (REED et al., 1994; ZHANG et al., 2003). No caso de séries temporais de EVI, Kuplich et al. (2013), em estudo realizado no Estado do Rio Grande do Sul, citam que estas séries podem ser utilizadas para caracterizar a dinâmica fenológica de diferentes tipologias vegetais.

No caso de estudos de ambientes naturais em ecossistemas que sofrem de estacionalidade climática (o vigor da vegetação varia de acordo com a alternância das estações chuvosa e seca ao longo do ano), é possível evidenciar por meio de análises temporais a variabilidade espectral desses alvos, isso permite distinguir suas dinâmicas sazonais e suas fitofisionomias (CARVALHO JÚNIOR et al., 2006, 2008, 2009).

### 3 METODOLOGIA

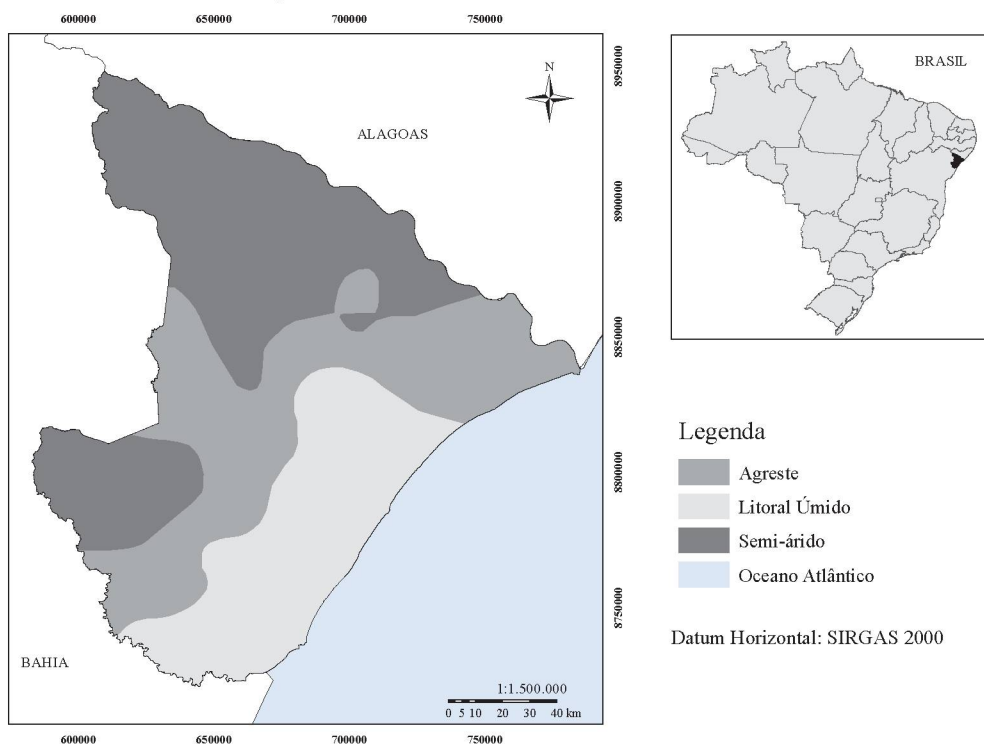
#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o Estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil, na faixa tropical. O Estado possui uma área de 21.910,35 km<sup>2</sup> (SERGIPE, 2012), situado entre as coordenadas geográficas 9° 31' 54" a 11° 34' 12" 9° 31' SE, e 36° 24' 27" a 38° 11' 20" 36° 25' WE (ARAGÃO et al., 2013), limita-se ao norte pelo Estado de Alagoas, ao sul e oeste pelo Estado da Bahia e, a leste, pelo oceano Atlântico.

No tocante às características climáticas, Sergipe apresenta temperatura média anual do ar variando de 22,7°C a 26,5°C e umidade relativa média anual entre 65% e 80% (ARAGÃO et al., 2011). Conforme descreve Nogueira Junior (2011), o Estado apresenta irregularidade espacial e temporal da distribuição pluviométrica, sendo esta decrescente do litoral em direção ao semiárido. O período chuvoso no Estado como um todo se concentra entre os meses de abril a agosto, com o máximo concentrado nos meses de maio e junho (COSTA; SOUZA, 2004).

Sergipe apresenta três regiões climáticas: Semi-árido, Agreste e Litoral Úmido. A localização e divisão climática do Estado de Sergipe são apresentadas na FIGURA 4.

FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DE SERGIPE.

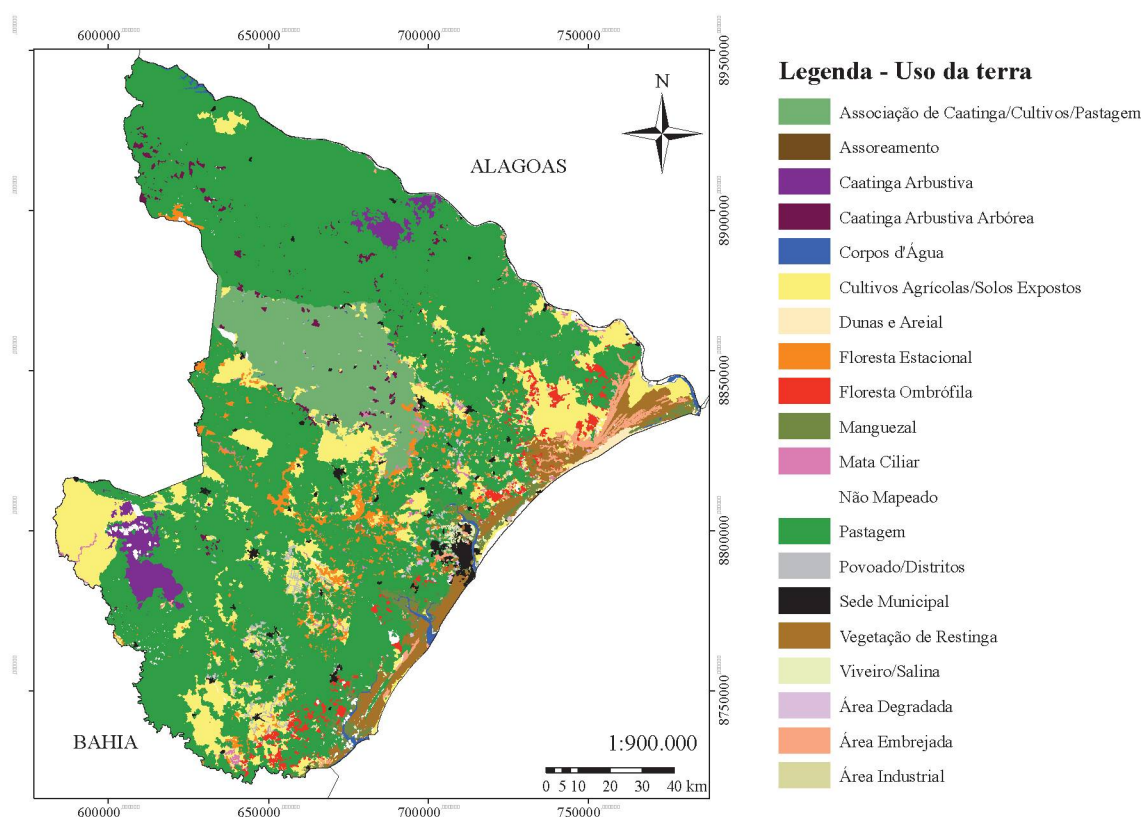


Mapa elaborado pela autora. FONTE: SERGIPE (2012)

Segundo Lucena et al. (2015), a região do Litoral Úmido é caracterizada por uma alta precipitação, com média de  $1.355 \text{ mm.ano}^{-1}$ . No Agreste, por sua vez, a precipitação apresenta valores em torno de  $1.000 \text{ mm.ano}^{-1}$  e, na região do Semi-árido, no interior do Estado, a precipitação média é de menos de  $700 \text{ mm.ano}^{-1}$  (LUCENA et al., 2015), com valores inferiores a  $30 \text{ mm.mês}^{-1}$  nos meses de verão (SIRHSE, 2016).

No tocante à vegetação, Sergipe apresenta dois biomas, a Caatinga e a Mata Atlântica. A Caatinga localiza-se, majoritariamente, na região semiárida, no interior do Estado, enquanto que as fitofisionomias da Mata Atlântica são encontradas próximas à faixa litorânea, com alguns fragmentos distribuídos em todo o Estado. Dentre as fitofisionomias pertencentes ao Estado e distribuídas entre os dois biomas, encontram-se: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila, Manguezal, Vegetação de Restinga, Caatinga Arbustivo Arbórea, Caatinga Arbustiva, além de associações entre Caatinga com cultivos agrícolas e Pastagem. A FIGURA 5 apresenta a divisão fitogeográfica de Sergipe.

FIGURA 5 - USO DA TERRA DO ESTADO DE SERGIPE.



Mapa elaborado pela autora. FONTE: SERGIPE (2012)

### 3.2 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Neste estudo foram utilizados os índices de vegetação do produto MOD13Q1, do período de janeiro de 2001 a dezembro de 2012. MOD13Q1 indica que os produtos possuem resolução espacial de 250 m, onde “Q” refere-se a *Quarter* Km, ou seja, quarta parte do quilômetro (ROSENDO; ROSA, 2005). Este produto é proveniente do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA, e contém os índices de vegetação NDVI e EVI. Os índices de vegetação são disponibilizados em escala global com uma resolução espacial de 250 m e as imagens são resultado de composições de 16 dias. No total, o banco de dados consiste em 276 imagens para toda a série temporal de cada índice de vegetação. As séries anuais são compostas por 23 imagens.

As imagens foram obtidas a partir do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira. O Banco de Produtos MODIS é uma iniciativa da Embrapa Informática Agropecuária para facilitar acesso e uso dos produtos gerados pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP-DAAC) e oferece imagens organizadas seguindo a base estadual brasileira, contendo 26 recortes (BAMBINI et al., 2015). Desse modo, foram selecionadas as séries temporais para o Estado de Sergipe, no período pré-estabelecido. As imagens são disponibilizadas de forma gratuita<sup>1</sup>, sendo as cenas obtidas da página eletrônica do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira.

As imagens são disponibilizadas em formato GeoTIFF, com coordenada geográfica, WGS-84 e resolução espacial reprojeta para 0,002245° (250 m). Os valores dos índices em números inteiros são multiplicados por 10.000, o intervalo de valores válidos é de -2.000 a 10.000 e o valor de preenchimento (para falhas e corpos d'água) é de -3000 (EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 2016).

### 3.3 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Foram utilizados os dados de precipitação mensal provenientes do estudo de Xavier et al. (2015). Nesse estudo, os autores desenvolveram um conjunto de dados, em grade, de precipitação e evapotranspiração de referência baseados nos dados de estações meteorológicas disponíveis para o Brasil, no período de 1980 a 2013. A seguir são descritas, brevemente, a base

<sup>1</sup> <https://www.modis.cnptia.embrapa.br/geonetwork/srv/pt/main.home>



de dados de precipitação e as técnicas de processamento realizadas pelos autores supracitados.

O conjunto de dados incluiu dados diários coletados de pluviômetros e estações meteorológicas convencionais e automáticas, do período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2013. Os dados de precipitação foram provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), sendo 67% do total de dados providos da ANA.

Foram testadas seis metodologias de interpolação, a saber: i) Média dentro da área do grid ( $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ) (M); ii) Interpolação natural (IN); iii) Suavizador de placa fina (SPF); iv) Inverso da distância ponderada (IDW); v) Distância angular (DA); e vi) Krigagem ordinária (KO). Como resultado, o método ID foi considerado o melhor para a base de dados.

Utilizando o método de interpolação com o melhor resultado para a variável precipitação (IDW), criou-se uma grade de dados, diária e mensal, para todo o Brasil, com resolução espacial de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  (aproximadamente 27 km na linha do Equador). Os dados estavam no formato *Network Common Data Form* (NetCDF), que inclui as coordenadas de grade, datas e outras informações relevantes. Também incluíram dois indicadores da qualidade de cada célula do grid: o número de estações compreendidas com dados e a distância geodésica da estação de informação mais próxima com dados. Os dados estavam disponíveis gratuitamente<sup>2</sup>.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os dados de precipitação mensal provenientes do estudo de Xavier et al. (2015), do período de janeiro de 2001 a dezembro de 2012.

### 3.4 DADOS DE EXTENSÃO E MUDANÇAS DA COBERTURA FLORESTAL

Com a finalidade de contrastar os resultados obtidos da análise de regressão, descrita posteriormente, foram utilizados mapas referentes à mudança da cobertura florestal global provenientes do trabalho de Hansen et al. (2013), que realizaram um trabalho de detecção de extensão e de mudanças na cobertura florestal para todo o globo terrestre. Para isso, utilizaram imagens Landsat do período de 2000 a 2014. O conjunto de dados globais estava dividido em  $10 \times 10$  *tiles* (quadrículos), e consistiu em sete arquivos por *tile*.

<sup>2</sup> <https://utexas.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>

Todos os arquivos eram disponibilizados em coordenada geográfica (Latitude/Longitude), WGS 84. A resolução radiométrica era de 8 bits, com resolução espacial de 1 segundo de arco por *pixel*, ou cerca de 30 metros por *pixel* no equador. Os sete arquivos eram:

Cobertura de copa das árvores para o ano de 2000; Perda de cobertura florestal global 2000-2014; Ganho de cobertura florestal global 2000-2012; Ano de evento bruto de perda de cobertura florestal; Máscara de dados; Imagem composta Landsat 7 livre de nuvens (Primeira - 2000); e Imagem composta Landsat livre de nuvens (Última - 2014). Os arquivos estavam disponíveis gratuitamente<sup>3</sup>.

Neste trabalho, foram utilizados os arquivos Cobertura de copa das árvores para o ano de 2000, Ganho de cobertura florestal global 2000-2012 e Ano de evento bruto de perda de cobertura florestal. “Cobertura de copa das árvores” é definida como o fechamento do dossel para toda a vegetação mais alta do que 5 m de altura, codificado como porcentagem por célula grade de saída, no intervalo 0-100. “Ganho de cobertura florestal” é definido como o inverso da perda, ou mudança da condição de não-floresta para floresta, no período de 2000-2012. “Ano de evento bruto de perda de cobertura florestal” é uma desagregação do total de perda de floresta para escalas de tempo anuais.

Para a obtenção dos arquivos para o Estado de Sergipe, foram obtidos os *tiles* 00N 040W e 10S 040W. Foi criado um arquivo *raster* a partir da união das imagens para cada arquivo e, em seguida, procedeu-se o recorte para o Estado de Sergipe, utilizando um arquivo *shapefile* com o limite estadual.

### 3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

A tabulação e análise de dados foi realizada em Ambiente R<sup>4</sup> (R CORE TEAM, 2016). Para o processamento dos dados foi utilizado, essencialmente, o *raster package* (pacote) disponível no software R. Por meio de diversas funções pertencentes ao *raster package* foi possível importar, manipular e analisar dados raster, além de exportar os resultados obtidos das análises.

As imagens NDVI/EVI, arquivos GeoTIFF, foram importados para o R, onde foram, inicialmente, agrupados em diferentes *RasterBricks*. *Rasterbricks* são objetos do *raster package*

<sup>3</sup> [http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download\\_v1.2.html](http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.2.html)

<sup>4</sup> <https://www.r-project.org>

que suportam múltiplas imagens, desde que estas possuíssem a mesma extensão e resolução.

Os dados de índice de vegetação são composições de 16 dias e, logo, ao longo do ano são obtidas 23 imagens.

Para a realização das análises, foram criados *Rasterbricks* mensais para cada índice de vegetação a partir do cálculo da média aritmética entre as duas imagens de índice de vegetação do mês, com exceção do mês de outubro que, por possuir apenas uma imagem (datada em 16 de outubro, em todos os anos da série temporal), dispensou o cálculo da média, utilizando-se os valores da única imagem. Obteve-se, então, 12 imagens por ano, tanto para NDVI quanto para EVI. Desse modo, foram criados *Rasterbricks* de NDVI e EVI, os quais contemplavam toda a série temporal (de janeiro de 2001 a dezembro de 2012) de cada variável.

As imagens NDVI/EVI disponibilizadas para Sergipe contemplam todo o Estado, além de possuírem áreas referentes à Bahia e à Alagoas. Assim, procedeu-se o recorte das imagens para o Estado, utilizando um arquivo *shapefile* (.shp) correspondente ao limite estadual, adquirido por meio do Atlas Digital Sobre Recursos Hídricos de Sergipe (SERGIPE, 2012).

Os dados de precipitação mensal são disponibilizados originalmente em projeção UTM, Datum WGS 84 e resolução espacial de 27 km. O sistema de coordenadas e a resolução espacial foram alterados com base nos dados de índice de vegetação, ou seja, para coordenada geográfica (Latitude/Longitude) e resolução espacial de 250 metros. Para isso, procedeu-se a interpolação dos dados por meio do método do vizinho mais próximo (*Nearest neighbor*) e bilinear.

De forma semelhante ao processamento realizado para os índices de vegetação, os arquivos NetCDF de precipitação mensal foram convertidos para arquivos *raster* e, em seguida, agrupados em diferentes *RasterBricks* compostos por 12 imagens por ano, contemplando toda a série temporal (2001 a 2012). Os arquivos originais contêm a precipitação mensal para todo o Brasil e, desse modo, procedeu-se o recorte para Sergipe por meio de um arquivo *shapefile* (.shp) do limite estadual.

### 3.6 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS

Foi realizada a regressão linear simples. A análise de regressão é utilizada para explicar ou modelar a relação entre uma variável dependente  $Y$ , ou variável resposta, e uma variável independente  $X$ , ou variável explicativa (FARAWAY, 2002). Neste caso, foi avaliada a resposta dos índices de vegetação em relação às variações de precipitação mensal no Estado de Sergipe. O modelo que representa a regressão linear simples é dado na EQUAÇÃO 3:



$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

EQUAÇÃO 3

Em que:

$Y_i$  = valor observado para a variável dependente Y no i-ésimo da variável independente X;

$\beta_0$  = coeficiente linear que representa o intercepto da reta com o eixo dos Y;

$\beta_1$  = coeficiente angular que representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X;

$X_i$  = i-ésimo nível da variável independente ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$\varepsilon_i$  = é o erro que está associado à distância entre o valor observado  $Y_i$  e o correspondente ponto na curva, do modelo proposto, para o mesmo nível de  $i$  de X.

Foram utilizadas três séries temporais: NDVI, EVI e precipitação mensal, cada uma composta por 144 imagens (12 por ano). Considerando a resolução espacial das imagens (250m), estas são compostas por 756.616 *pixels*; cada *pixel* das séries de índice de vegetação representa um valor de Y e o *pixel* correspondente da série de precipitação representa um valor de X, desse modo, a análise de cada *pixel* foi composta por 144 amostras. A análise, então, foi efetuada no tempo e no espaço; no tempo, pois considera a série temporal de 12 anos e, no espaço, pelo fato de a análise ser feita para um conjunto de milhares de *pixels*, considerando uma área pré-determinada, ao invés de considerar apenas um *pixel*.

A análise foi realizada em ambiente R, assumindo as configurações do *default* do programa, ou seja, nível de significância de 5%. Utilizou-se, também, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcMap.

### 3.7 ANÁLISE DE SAZONALIDADE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

As análises das séries temporais de NDVI e EVI foram realizadas pela metodologia proposta por Forkel et al. (2013). Essa metodologia foi implementada utilizando o pacote denominado *greenbrown*<sup>5</sup>, disponível para o *software* R. Este pacote apresenta uma gama de funções para analisar tendências e mudanças de tendências em séries temporais.

A aplicação das funções do pacote *greenbrown* foi realizada para todo o Estado de Sergipe e, como resultado da aplicação do pacote, foram obtidas as seguintes informações (parâmetros) acerca das séries temporais: Média, Tendência, Variabilidade Interanual (IAV),

<sup>5</sup> <http://greenbrown.r-forge.r-project.org/>



Desvio Padrão de IAV, Variação Sazonal, Variabilidade Intra-Anual (STV) e Desvio Padrão de STV.

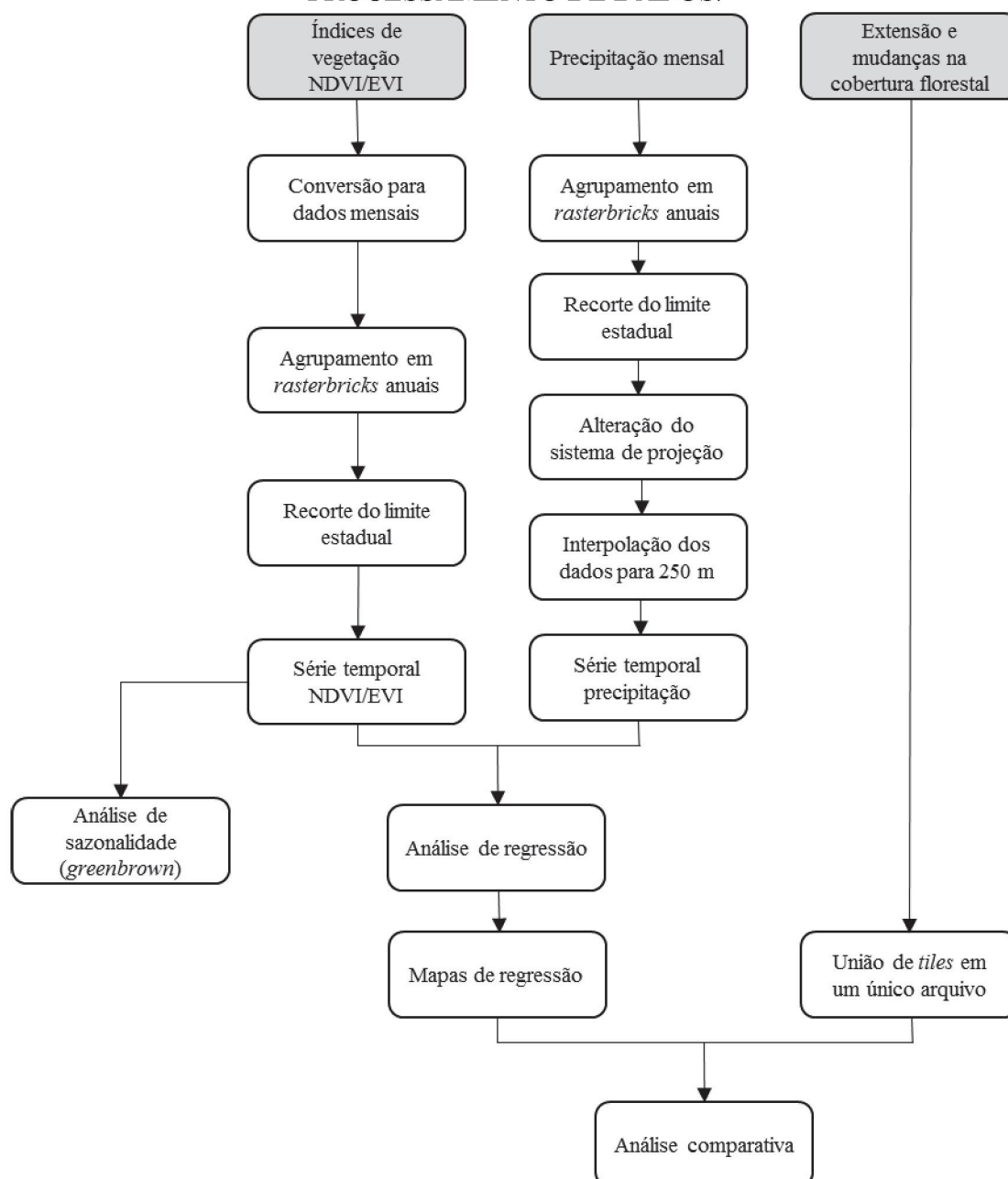
O cálculo dos parâmetros é feito baseado na decomposição da série seguindo as seguintes etapas descritas por Forkel et al. (2013):

- a) A média de cada série temporal é calculada;
- b) Os valores mensais são calculados a valores anuais e o parâmetro tendência é calculado com base no método AAT – *Annual Aggregated Time Series*, sem contabilizar os *breakpoints*. O coeficiente de inclinação da reta da regressão linear é estimado, indicando uma tendência positiva ou negativa;
- c) O IAV, desvio padrão das anomalias anuais, ou ruído, é calculado pela subtração da média e da tendência dos valores originais da série;
- d) O intervalo do ciclo sazonal é estimado. A sazonalidade é calculada pela subtração da média, da tendência e das anomalias da série temporal original;
- e) A média, a tendência, as anomalias e o ciclo sazonal são subtraídos da série temporal, resultando as anomalias em curto prazo, ou seja, STV.

Após a aplicação do *greenbrown*, procedeu-se a análise visual dos parâmetros de sazonalidade gerados.

Em resumo, o processamento dos dados aplicado neste trabalho pode ser resumido na FIGURA 6.

FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DEMONSTRANDO A METODOLOGIA DO PROCESSAMENTO DE DADOS.



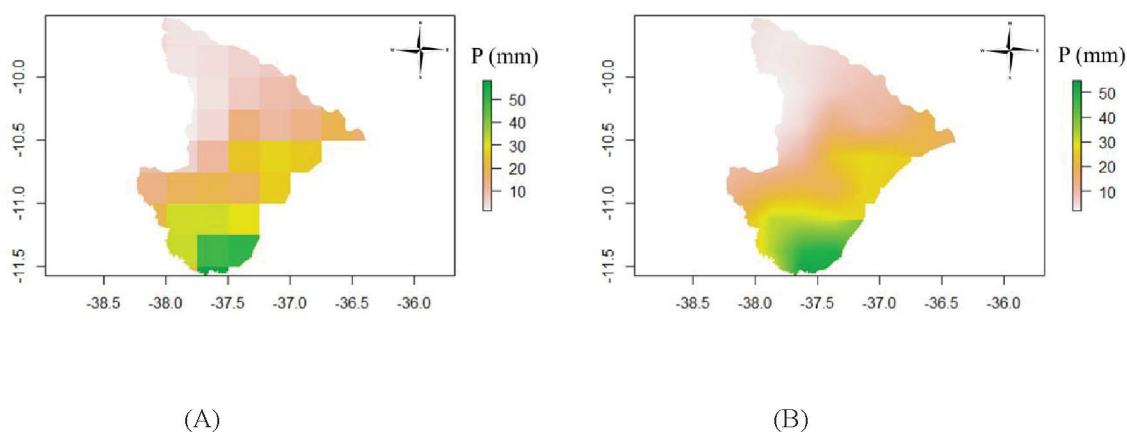
FONTE: A Autora (2016).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 SÉRIES TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO

Foi realizada a interpolação dos dados de precipitação para igualar o sistema de coordenadas e a resolução espacial aos dados de índice de vegetação, utilizando-se os métodos do vizinho mais próximo e bilinear. A interpolação bilinear apresentou resultados mais satisfatórios quando comparada ao método do vizinho mais próximo. Segundo Dourado (2014), a interpolação bilinear utiliza a média ponderada dos *pixels* originais que se encontram ao redor do novo *pixel* e, quanto mais distante o *pixel* interpolado estiver de algum ponto vizinho, menor será a influência que sofrerá deste *pixel*. A FIGURA 7 apresenta um exemplo dos resultados da interpolação por meio dos dois métodos avaliados para EVI, no Estado de Sergipe, em janeiro de 2001.

FIGURA 7 - RESULTADO DE INTERPOLAÇÃO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO POR MEIO DO MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO (A) E BILINEAR (B).



FONTE: A Autora (2016)

Legenda: P – precipitação, em milímetros (mm).

Na interpolação bilinear, apesar de a média ser ponderada, o fato de se utilizar apenas os quatro vizinhos mais próximos ao seu redor proporciona à imagem transições mais suaves em locais de altas frequências, apresentando o efeito serrilhado mais atenuado; contudo, os

detalhes são afetados pelas médias e isso resulta em um aspecto de “imagem borrada” (DOURADO, 2014).

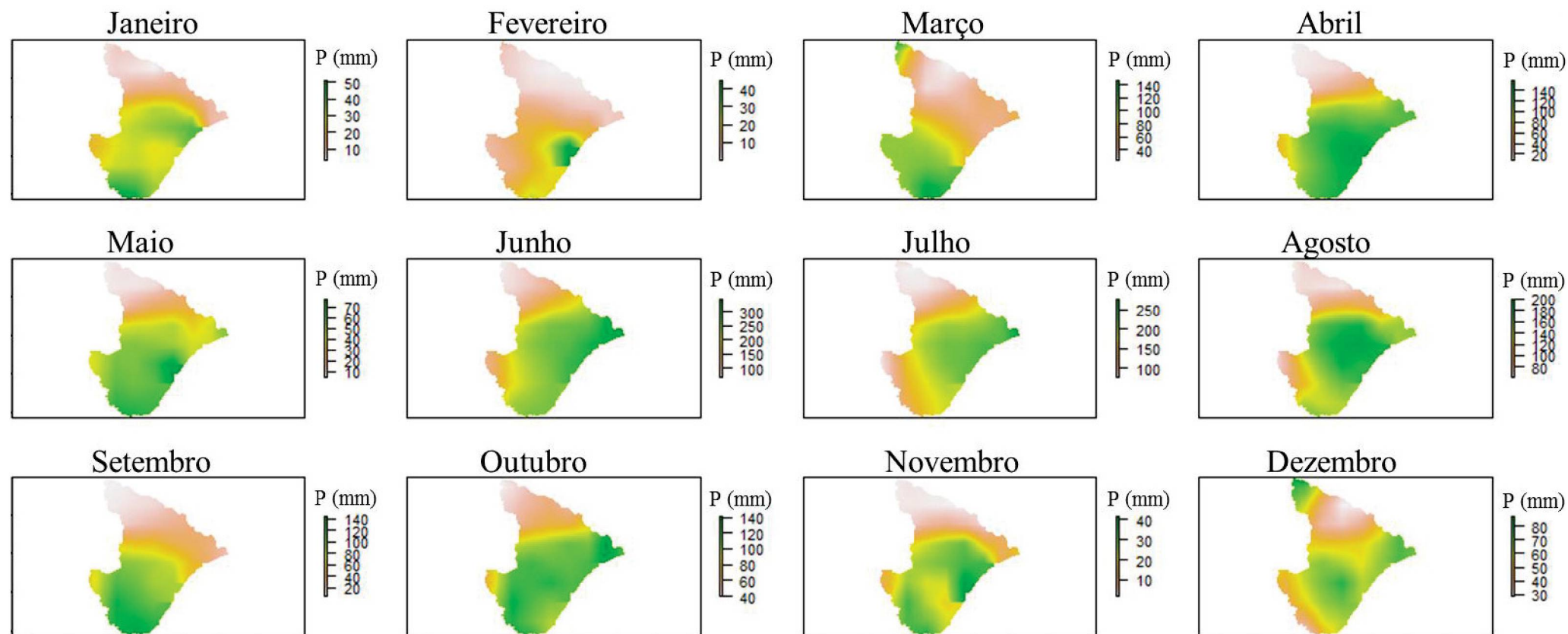
Para a análise das séries temporais, foram criados *Rasterbricks* de precipitação por meio do software R e, desse modo, cada série temporal anual pode ser visualizada separadamente. A FIGURA 8 exibe as séries temporais de totais mensais de precipitação para o ano de 2001, no Estado de Sergipe, onde é possível avaliar a distribuição espacial e temporal dessa variável. As séries temporais dos demais anos (de 2002 a 2012) estão dispostas nos APÊNDICES A - K.

Nos meses de janeiro e fevereiro foram observadas as menores precipitações (cores branca a rosa claro na imagem) com máximas próximas de  $50 \text{ mm.mês}^{-1}$  e  $40 \text{ mm.mês}^{-1}$ , respectivamente. As maiores precipitações (cor verde escuro) foram evidenciadas nos meses de junho, julho e agosto, com valores próximos a  $300 \text{ mm.mês}^{-1}$  e  $250 \text{ mm.mês}^{-1}$  e  $200 \text{ mm.mês}^{-1}$ , respectivamente.

A precipitação em Sergipe no ano de 2001 foi distribuída heterogeneamente entre as regiões climáticas. No Litoral Úmido a precipitação ocorreu durante todo o ano, em quase toda a extensão litorânea. A medida em que se distancia do litoral do Estado, a precipitação diminui, representada pelas cores verde claro a amarelo na imagem, na região do Agreste sergipano. Na região Semi-árida, por sua vez, a precipitação apresentou os menores valores durante todo o ano em praticamente toda a sua extensão, com exceção dos meses de março e dezembro, na região noroeste do Estado.



FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PRECIPITAÇÃO (mm), NO ANO DE 2001, EM SERGIPE.



FONTE: A Autora (2016).

Legenda: P – precipitação, em milímetros (mm). Os quantitativos de precipitação são apresentados em um gradiente de cores onde a cor branca representa o menor valor e a cor verde escuro representa o maior valor.

## 4.2 SÉRIES TEMPORAIS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Ao analisar as séries temporais completas dos índices de vegetação foi possível extrair os parâmetros principais das séries, que se encontram na TABELA 2. NDVI e EVI apresentaram o mesmo valor mínimo. Ressalta-se que -0,3 é o valor de preenchimento atribuído a falhas e corpos d'água no produto MOD13Q1 do sensor MODIS. No tocante ao valor máximo, os índices apresentaram resultados semelhantes, sendo que o EVI chegou a apresentar, na série temporal de um *pixel*, o valor máximo de 1,0. No entanto, ao avaliar a média dos índices em toda a série, o NDVI exibiu uma maior média (0,87), em detrimento da média de EVI (0,61). Espig et al. (2006), Liesenberg et al. (2007) e Bayma (2015), também detectaram essa variação de 0,2 a 0,3 entre estes dois índices.

Na análise comparativa entre estes índices de vegetação, o NDVI é propenso a exibir maiores valores que o EVI, assumindo que há uma maior densidade de biomassa em determinado local quando, na verdade, a densidade é a mesma. Diferentes valores de índices de vegetação para uma mesma cobertura vegetal provêm da base de cálculo destes índices. O NDVI utiliza para o seu cálculo as bandas do vermelho e do infravermelho. Já o EVI, além dessas bandas, utiliza também, a banda do azul, bem como fatores e coeficientes de correção. Conforme apontam Huete et al. (1999) e Huete et al. (2002), esta diferença é resultante do fato de que o espectro referente ao vermelho exerce maior influência sobre a equação do NDVI, tornando-o mais sensível à variação na quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa. Em contrapartida, os autores supracitados explicam que o infravermelho próximo exerce um peso maior sobre a equação do EVI, tornando-o mais sensível a variações na estrutura do dossel, incluindo IAF, tipo de dossel, fisionomia da planta, forma das folhas e a arquitetura do dossel.

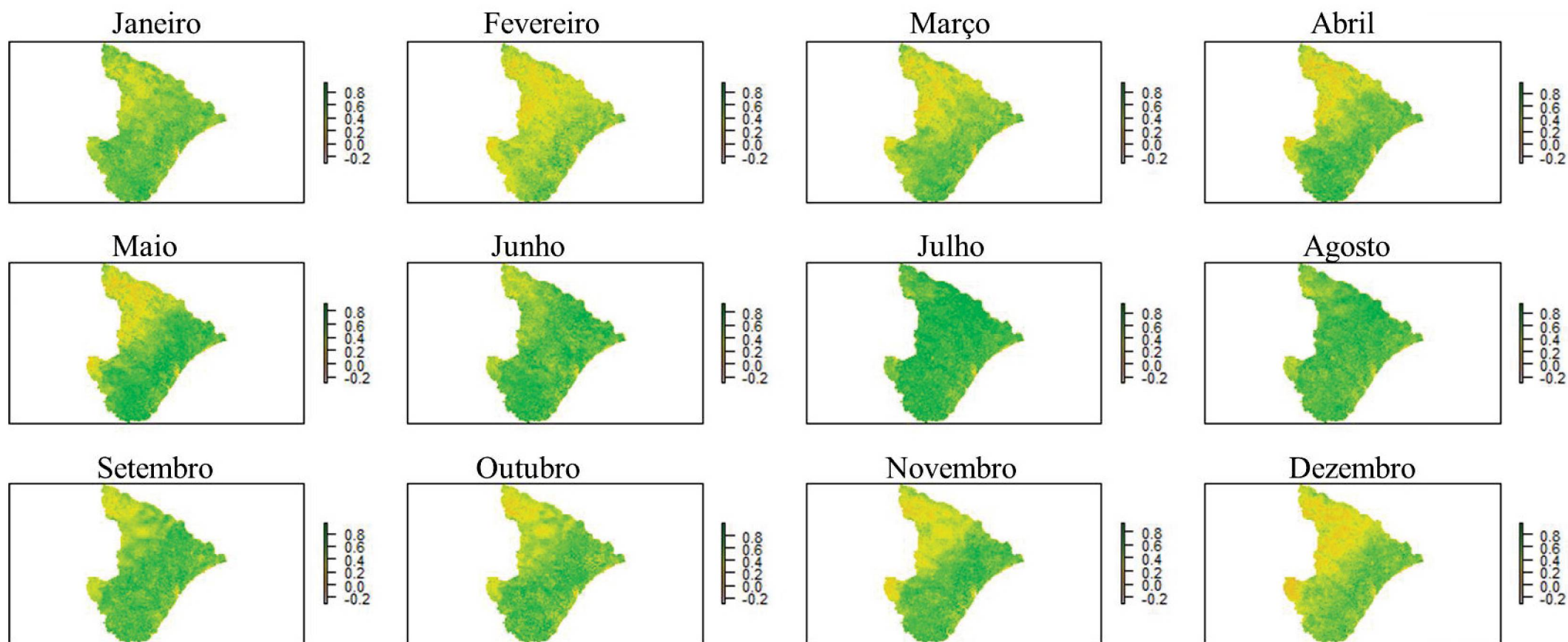
TABELA 2 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA A SÉRIE TEMPORAL COMPLETA, EM SERGIPE.

Parâmetro	Índice de Vegetação	
	NDVI	EVI
<b>Mínimo</b>	-0,30	-0,30
<b>Máximo</b>	0,99	1,00
<b>Média</b>	0,87	0,61

FONTE: A Autora (2016).

Conjuntamente, é válido analisar as imagens referentes à série temporal mensal de NDVI e EVI para o ano de 2001, exibidas nas FIGURAS 9 e 10, respectivamente. As séries temporais de 2002 a 2012 para NDVI e EVI estão dispostas nos APÊNDICES L-V e W-AG, respectivamente.

FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE NDVI NO ANO DE 2001, EM SERGIPE.

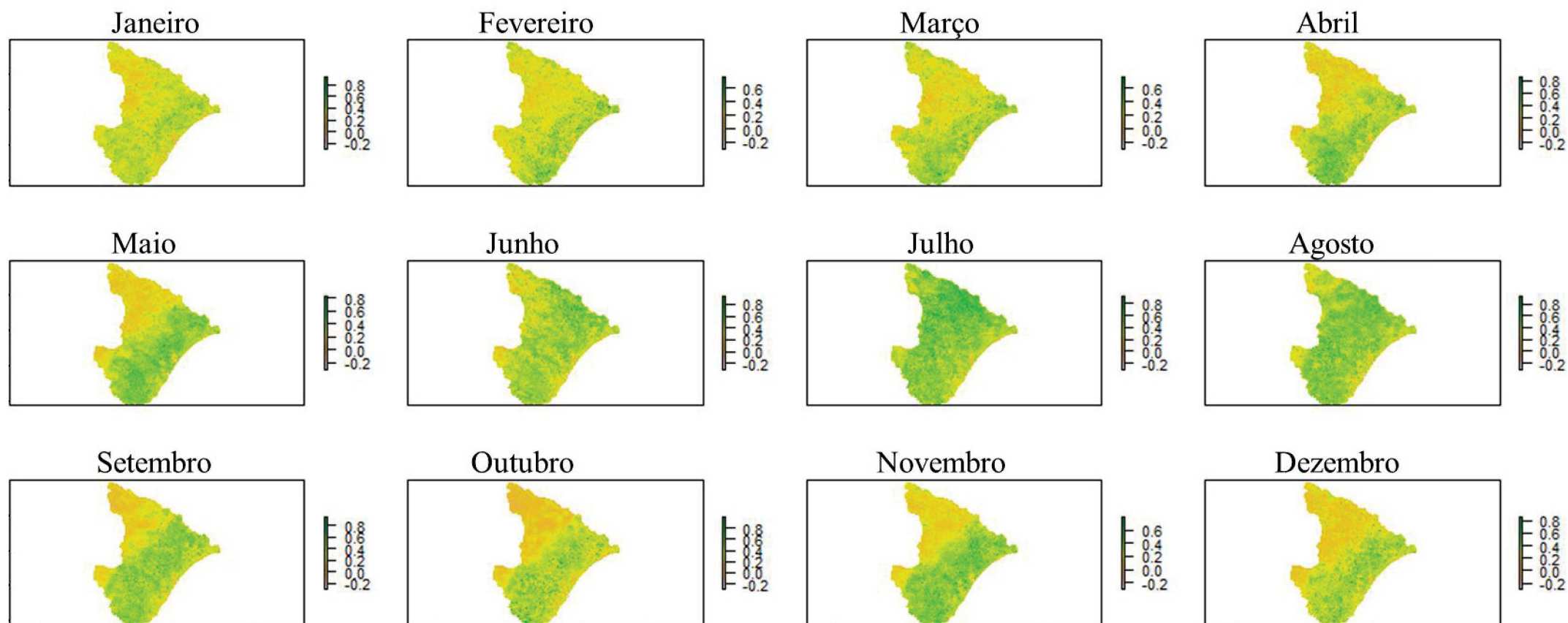


FONTE: A Autora (2016).

Legenda: Os valores de índice de vegetação são apresentados em um gradiente de cores onde a cor branca representa o menor valor e a cor verde escuro representa o maior valor.



FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE EVI NO ANO DE 2001, EM SERGIPE.



FONTE: A Autora (2016).

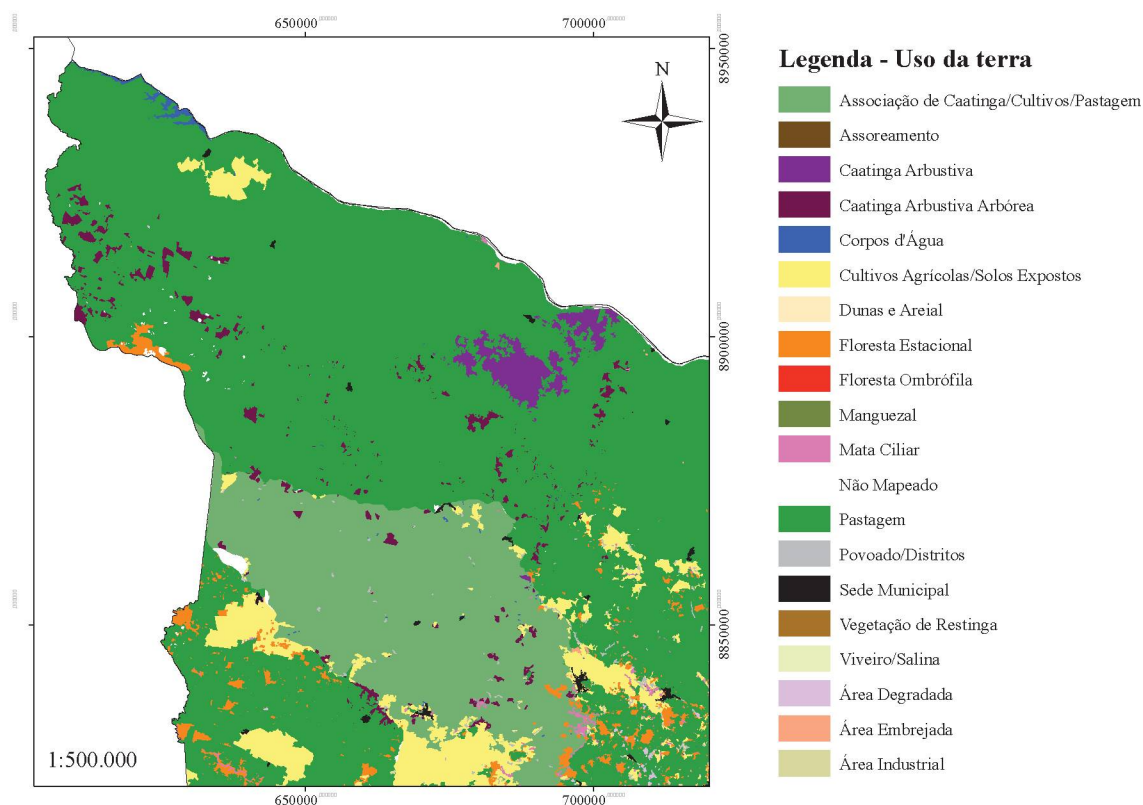
Legenda: Os valores de índice de vegetação são apresentados em um gradiente de cores onde a cor branca representa o menor valor e a cor verde escuro representa o maior valor.

Observa-se que, na FIGURA 10, o EVI apresenta ampla variação nos valores dos índices, com grande quantidade de *pixels* representados por valores entre 0,2 e 0,4 em alguns meses, até valores médios de 0,6, na maior parte dos meses, representados pela coloração alaranjada a amarelada nas imagens. Ressalta-se que os maiores valores de EVI são encontrados na região entre o Litoral Úmido e o Agreste do Estado na série anual, com exceções nos meses de junho, julho e agosto, onde, em grande parte do Estado, é visualizada a coloração esverdeada, com índices acima de 0,8. No tocante à vegetação, a região do Litoral Úmido caracteriza-se pela ocorrência de remanescentes de Floresta Ombrófila, fitofisionomia da Mata Atlântica. Formigoni et al. (2011) analisaram o comportamento temporal de EVI do sensor MODIS nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, no nordeste brasileiro, e concluíram que o bioma Mata Atlântica apresentou, juntamente com o bioma Amazônia, os maiores valores de EVI.

Avaliando NDVI e EVI, Huete et al. (1997) e Huete et al. (2002) citam que em áreas com florestas densas e contínuas, onde não há grandes variações na quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa, encontra-se pouca variação nas reflectâncias do espectro do vermelho, resultando na menor sensibilidade apresentada pelo NDVI a estas áreas. Em compensação, as amplas variações encontradas para o infravermelho próximo explicam a maior sensibilidade obtida com o EVI, resultante da estratificação e demais características da arquitetura do dossel como um todo. Constatando o que foi exibido na TABELA 2, as imagens referentes ao NDVI evidenciam que este índice apresentou valores altos para todo o Estado de Sergipe, quando comparado ao EVI, o que pode ser observado pela grande quantidade de *pixels* de coloração verde escura.

Considerando NDVI e EVI, a região Semi-árida de Sergipe exibe os menores valores destes índices, durante quase todo o ano, com exceção dos meses de junho, julho e agosto, os quais coincidem com a época chuvosa no Estado. Salienta-se que esta região apresenta como padrão vegetacional remanescentes de vegetação de Caatinga, remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e, além disso, apresenta extensas áreas de pastagem e cultivos agrícolas. A FIGURA 11 exibe em detalhe o uso da terra na região noroeste do semiárido sergipano.

FIGURA 11 - USO DA TERRA NA REGIÃO NOROESTE DO SEMIÁRIDO SERGIPANO.



Mapa elaborado pela autora. FONTE: SERGIPE (2012).

A Caatinga é um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas (LEAL et al., 2005). O termo “caatinga” é de origem Tupi e significa “mata branca”, em referência ao aspecto da vegetação durante a estação seca, quando a maioria das árvores perde as folhas e os troncos esbranquiçados e brilhantes dominam a paisagem (PRADO, 2003).

A Floresta Estacional Semidecidual, por sua vez, caracteriza-se por comunidades vegetais onde 20% a 50% dos indivíduos do estrato arbóreo superior perdem as folhas na estação desfavorável, caracterizada por condições periódicas de seca no nordeste brasileiro (CAVASSANI, 2007). Enfatiza-se que a utilização de índices de vegetação baseia-se na reflectância da vegetação em bandas específicas do espectro eletromagnético. Por exemplo, folhas verdes saudáveis possuem alta reflectância na região do infravermelho próximo. Ainda que apresentando padrões espectrais distintos, é notório dizer que, quando da época de caducifolia, o sensor não captará a reflectância referente às folhas da vegetação, seja da Caatinga ou da FES, resultando em valores de índices de vegetação reduzidos.

Considerando toda a série temporal apresentada na FIGURA 10, é possível verificar que, na região do Litoral Úmido do Estado, os valores de EVI são reduzidos. Parte dos



municípios mais urbanizados de Sergipe encontram-se nessa região, resultando em uma intensa antropização, onde ocorre substituição da vegetação por outros usos. Uma área urbana é formada por diversos tipos de alvos como concreto, asfalto, telhados de vários materiais, solo exposto, grama, água e etc. (FORSTER, 1985), o que se reflete na resposta espectral e, conseqüentemente, na resposta dos índices de vegetação, visto que estes são utilizados especificamente para quantificar vegetação.

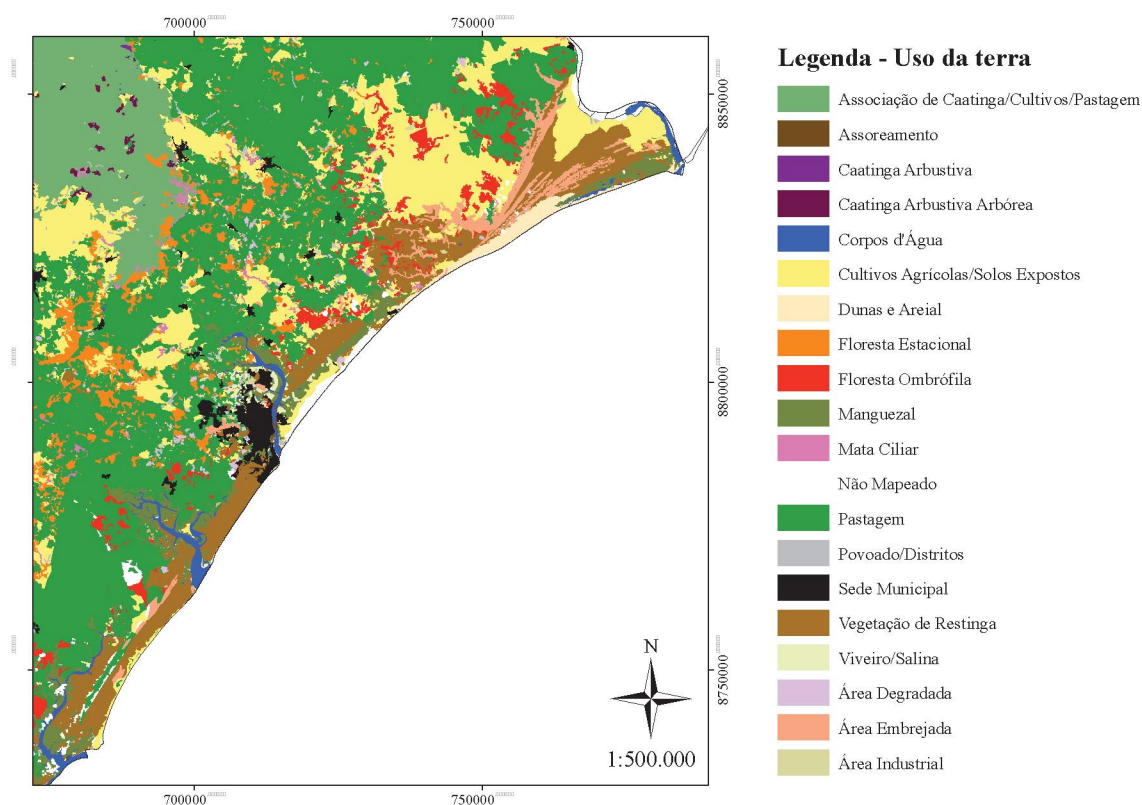
Segundo Durán (2014), os constituintes da área urbana refletem fortemente no verde, vermelho e infravermelho próximo. A autora supracitada explica, ainda, que a diferença de contraste entre as áreas urbanas e áreas com vegetação é notável, visto que áreas com vegetação aparecem em vermelho brilhante em composições coloridas e falsa cor, por serem elementos que refletem muita energia no infravermelho e a absorvem no verde e vermelho.

Salienta-se que, além de áreas urbanas, a região do litoral também é caracterizada por regiões estuarinas, manguezais e dunas. A FIGURA 12 exibe em detalhe o uso da terra para a região litorânea do Estado de Sergipe. É sabido que estes alvos apresentam padrões de reflectância distintos dos que caracterizam a vegetação, o que se reflete na resposta reduzida dos índices. Por exemplo, para corpos d'água, a maior parte do fluxo incidente sobre a água pura não é refletido, como ocorre no solo e na vegetação, mas sim absorvido ou transmitido (FERREIRA; PEREIRA FILHO, 2009). A água, no seu estado líquido, apresenta baixa reflectância. Em regiões de dunas, a resposta espectral também é diferente da vegetação, visto que a porcentagem de areia tem grande influência na reflectância do solo.

Ademais, encontra-se também na região do litoral a vegetação de restinga, como apresentado no mapa. De acordo com a resolução CONAMA nº 303 a cobertura vegetal nas restingas ocorre em mosaico e encontra-se em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e abóreo, este último mais interiorizado (CONAMA, 2002). Este tipo de vegetação é resultado de influência marinha e apresenta características um pouco distintas das fitofisionomias de florestas mais densas. Na restinga os estágios sucessionais diferem das formações ombrófilas e estacionais, ocorrendo notadamente de forma mais lenta, em função do substrato que não favorece o estabelecimento inicial da vegetação, principalmente por dissecação e ausência de nutrientes (CONAMA, 1996).



FIGURA 12 - USO DA TERRA NA REGIÃO DO LITORAL SERGIPANO.



Mapa elaborado pela autora. FONTE: SERGIPE (2012).

Ao analisar a FIGURA 9, observa-se em quase sua totalidade a coloração verde escuro, o que representa os maiores valores deste índice para a região de estudo. Confrontando estes resultados, é possível observar que, na região do litoral do Estado, o NDVI apresentou valores mais altos que EVI durante o ano. Nota-se que, para uma mesma região, o NDVI satura mais rápido que o EVI, corroborando o explicitado na TABELA 2. Isto significa dizer que, para uma mesma densidade vegetal, o NDVI assume valores maiores de índice que o EVI, este último sendo mais sensível às variações de cobertura vegetal.

Ao relacionar a FIGURA 12 com as FIGURAS 9 E 10, nota-se que o NDVI foi capaz de detectar mais adequadamente as áreas de vegetação de restinga no litoral do Estado, representado pela coloração verde na FIGURA 9, em detrimento do EVI, onde exibiu menores valores, representados pela coloração amarela nas regiões de restinga, apresentado na FIGURA 10. Neste caso, o NDVI apresentou-se mais sensível à detecção de vegetações mais ralas, como é o caso da vegetação de restinga.

O EVI possui maior sensibilidade em regiões com alta produção de biomassa. Este índice é mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o IAF, a

fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE et al., 2002). De acordo com os mesmos autores, alguns trabalhos sugerem que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa. Asrar et al. (1984) salientam que a rápida saturação do NDVI o torna pouco sensível à detecção de variações no aumento da biomassa vegetal a partir de uma determinada fase de crescimento das plantas. Bayma (2015) cita que, quando a vegetação é muito densa, o NDVI não responde mais devido à saturação e, para Sellers (1985), este efeito de saturação é devido à absorção forte no comprimento de onda referente à banda do vermelho. Segundo Ferreira et al. (2008), o NDVI deixa de se mostrar eficiente especialmente se os valores superarem 0,8.

Em referência à defasagem dos índices em relação à ocorrência de precipitação, é possível realizar uma análise comparativa entre as variáveis dispostas nas FIGURAS 9 e 10, índices de vegetação, e a apresentada na FIGURA 8, referente à precipitação mensal. Por meio da análise temporal dos resultados, nota-se que os valores de EVI e NDVI aumentam após um período chuvoso. Ao analisar precipitação mensal e EVI (FIGURA 10), verifica-se que a resposta do aumento do índice ocorreu no mesmo mês em que houve aumento da precipitação, com exceção dos meses de abril e outubro, em que o aumento de EVI nas áreas onde houve aumento da precipitação ocorreu nos meses seguintes, maio e novembro, respectivamente. É possível evidenciar que, na maior parte do ano de 2001, a variação da distribuição espacial de EVI acompanha a variação de precipitação mensal no que diz respeito ao mês de ocorrência de chuva. Para o NDVI, o mesmo fato ocorre; os meses em que os maiores valores para este índice são encontrados são, também, os de maior precipitação mensal (julho, agosto). Para ambos os índices, a resposta (aumento de *pixels* com valores altos) à maior ocorrência de precipitação, em junho (aproximadamente 300 mm.mês<sup>-1</sup>), é evidenciada em julho, apresentando, portanto, defasagem na resposta.

Segundo Ribeiro et al. (2009), a vegetação necessita de certo período para responder às adversidades climáticas, isto é, há necessidade de que ocorra um intervalo de tempo entre a época chuvosa e um acúmulo de biomassa verde, por exemplo. Os mesmos autores ressaltam que essa defasagem temporal entre causa (neste caso, a precipitação) e efeito (acúmulo de biomassa verde) é necessária para a recuperação da capacidade fotossintética e produção de carboidratos estruturais destinados à formação de folhas. É importante citar que, conforme apontam Becerra et al. (2015), nas regiões de menor precipitação, domínio de cobertura gramíneo-herbácea e arbustiva, a defasagem é menor do que nas classes com maior precipitação, domínio de vegetação arbórea decídua, semidecídua e perenifólia.

O fato de a maior parte dos meses do ano de 2001 não apresentar defasagem evidente, para ambos os índices, pode ser explicada ao considerar que, para a análise dos índices de vegetação, foi realizada uma média aritmética entre duas composições de 16 dias do sensor MODIS, já que, em cada mês (com exceção de outubro), são disponibilizadas duas imagens. Desse modo, o acúmulo de biomassa verde em resposta à precipitação pode apresentar uma defasagem de poucos dias (ou menos de um mês) e, considerando que as imagens NDVI/EVI aqui apresentadas são valores médios, a imagem média resultante pode ter omitido essa defasagem.

#### 4.3 ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS

A partir das séries temporais de índice de vegetação e precipitação mensal, de 2001 a 2012, foi possível obter a relação entre estas variáveis. Os resultados da análise de regressão simples são apresentados na TABELA 3.

TABELA 3 - PARÂMETROS DE REGRESSÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRECIPITAÇÃO MENSAL.

	Intercepto ( $\beta_0$ )		Coeficiente angular ( $\beta_1$ )		Coeficiente de Determinação ( $R^2$ )	
	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI
<b>Índice de Vegetação</b>						
<b>Mínimo</b>	-489,8	-1.002,4	-1.518,3	-645,0	7,316E-11	1,61E-12
<b>Máximo</b>	468,0	398,2	3.196,1	1.931,4	0,614	0,566

FONTE: A Autora (2016).

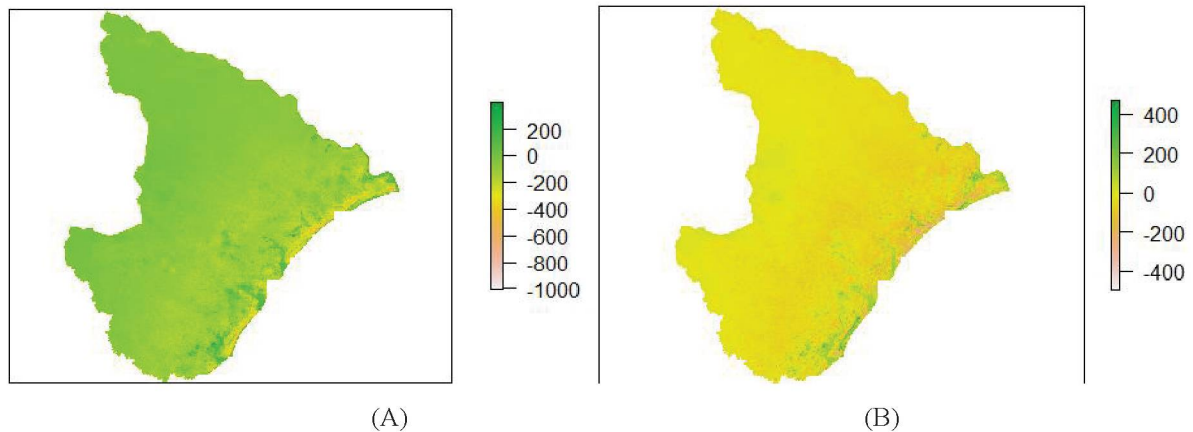
Ao analisar o intercepto ( $\beta_0$ ), onde a linha de regressão “corta” o eixo das ordenadas, verifica-se uma grande amplitude de valores. Na FIGURA 13 A e B pode ser observada a distribuição destes valores para NDVI e EVI, respectivamente. Em grande parte das imagens, os valores encontram-se próximos a zero. Para ambos os índices, a ocorrência de valores máximos e mínimos são observados no litoral do Estado, em toda a sua extensão, sendo os valores máximos exibidos nas regiões alagadas e nos rios do litoral.

O coeficiente angular ( $\beta_1$ ), que representa a inclinação da linha de regressão, também obteve grande variação entre os valores de máximo e mínimo. Ao avaliar a FIGURA 14 A e B



(NDVI e EVI, respectivamente), evidencia-se que, na maior parte das imagens, os valores são muito próximos ou acima de zero, representados pela coloração alaranjada na imagem. As maiores variações de  $\beta_1$  são encontradas no litoral de Sergipe. Ao contrário de  $\beta_0$ , no litoral são evidenciados os menores valores de coeficiente angular.

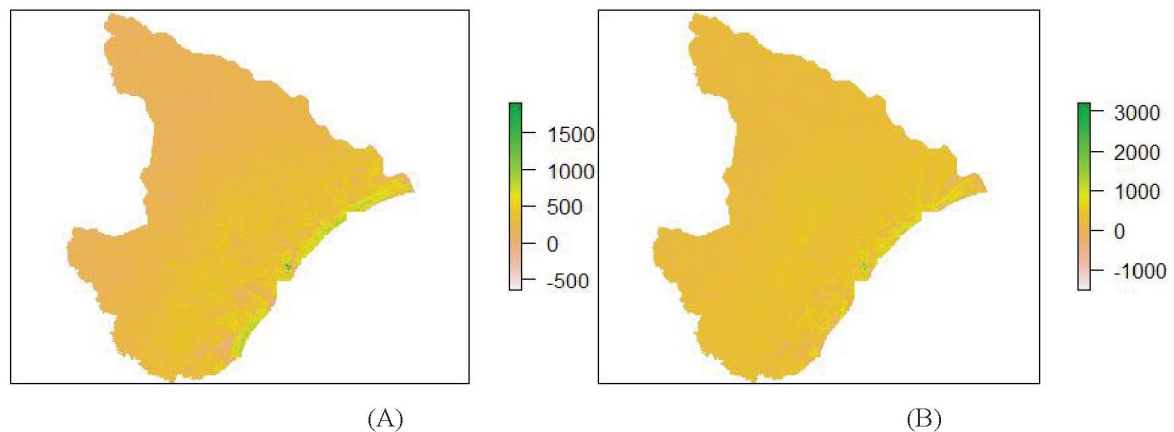
FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE INTERCEPTO ( $\beta_0$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL, NDVI (A) E EVI (B), DE 2001 A 2012, EM SERGIPE.



FONTE: A Autora (2016).

Legenda: Os valores de  $\beta_0$  são apresentados em um gradiente de cores onde a cor branca representa o menor valor e a cor verde escuro representa o maior valor.

FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE COEFICIENTE ANGULAR ( $\beta_1$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL, NDVI (A) E EVI (B), DE 2001 A 2012, EM SERGIPE.



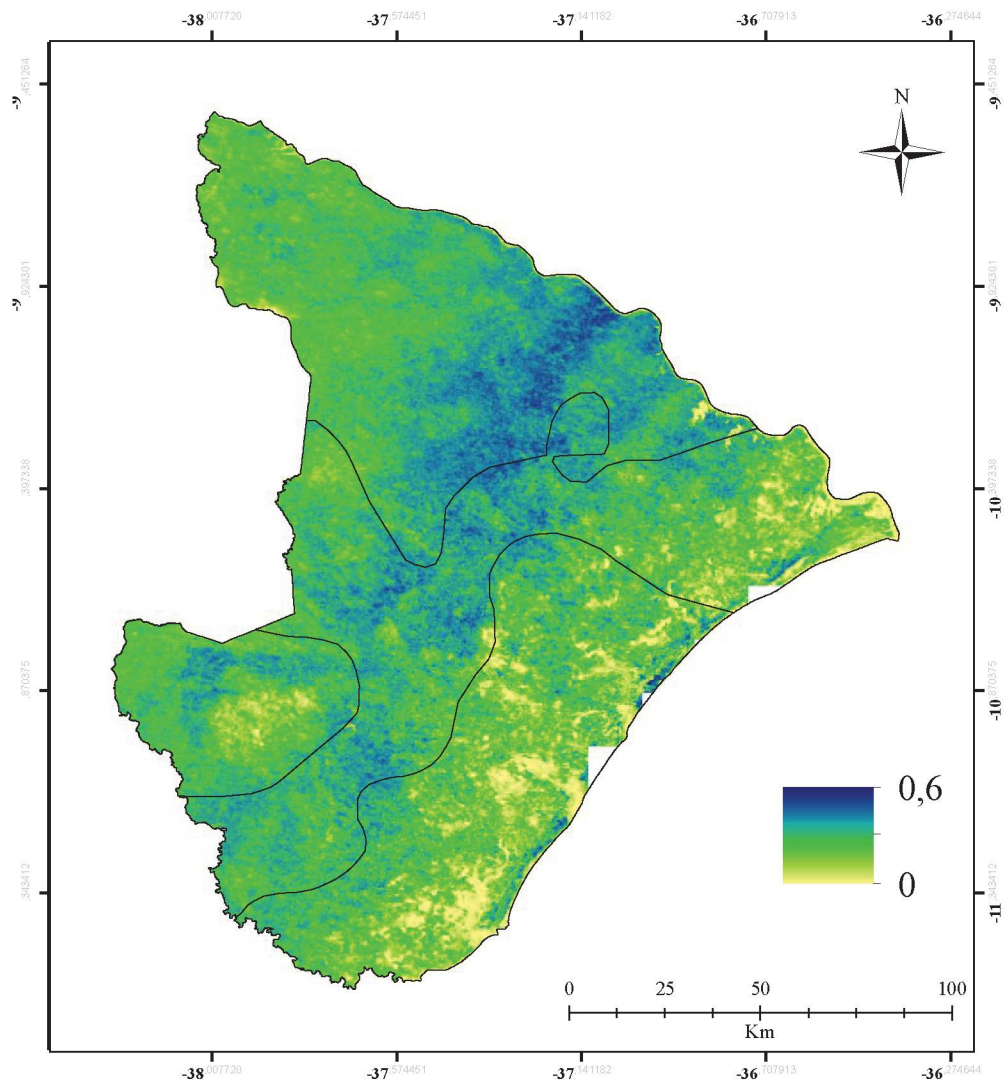
FONTE: A Autora (2016).

Legenda: Os valores de  $\beta_1$  são apresentados em um gradiente de cores onde a cor branca representa o menor valor e a cor verde escuro representa o maior valor.



Ao analisar os valores de Coeficiente de Correlação ( $r$ ), tanto NDVI quanto EVI obtiveram grande amplitude espacial, com valores máximos de 0,57 e 0,61, respectivamente. Faraway (2002) cita que, quando se trata de ciências biológicas, como é o caso, as variáveis tendem a ser mais fracamente correlacionadas, onde um valor de 0,6 pode ser considerado bom. A partir da análise da relação entre NDVI/EVI e precipitação foram criados mapas de  $r$ , os quais são apresentados nas FIGURAS 15 e 16, respectivamente, em escala 1:1.500.000, juntamente com a sobreposição da divisão climática do Estado de Sergipe.

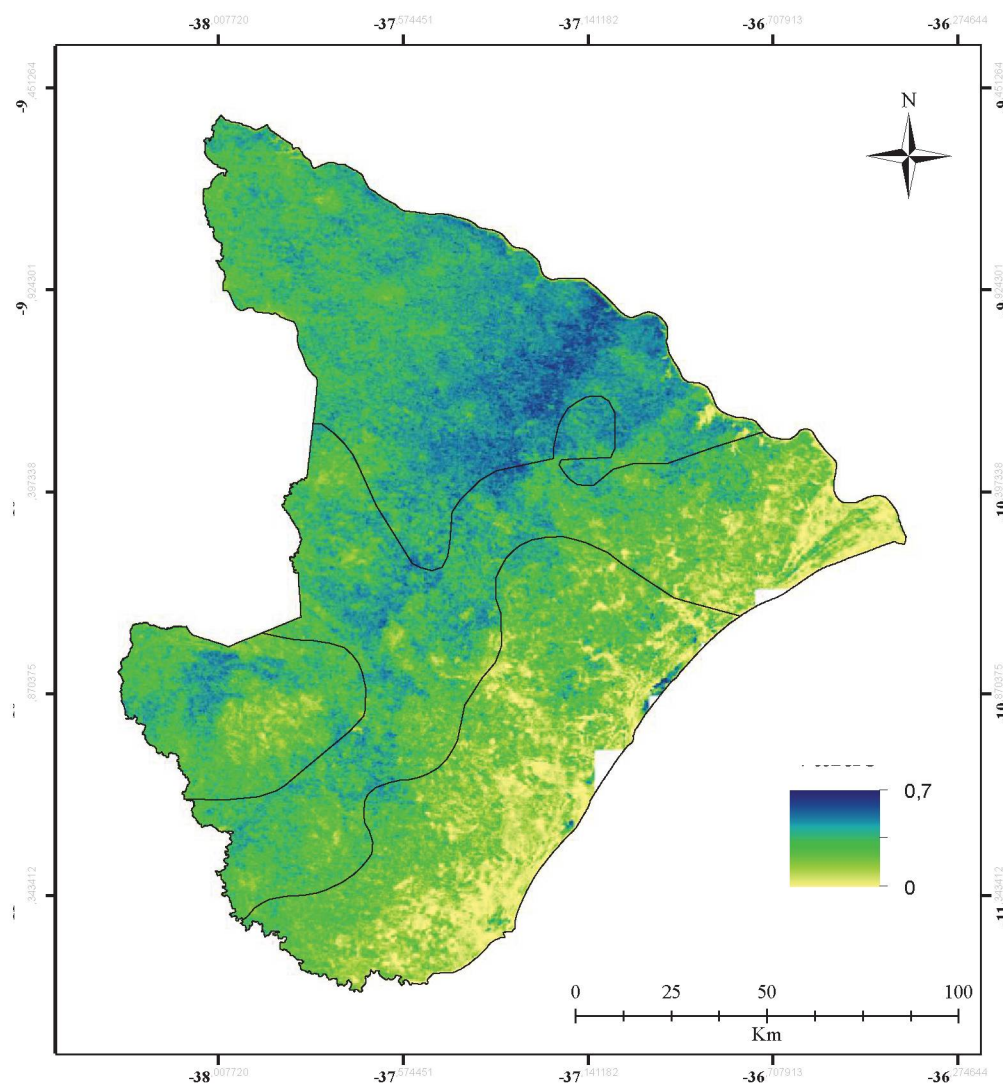
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ( $r$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL E NDVI, DE 2001 A 2012, EM SERGIPE.



FONTE: A Autora (2016).

Legenda: Os valores de Coeficiente de Correlação ( $r$ ) são apresentados em um gradiente de cores onde a cor amarela representa o menor valor e a cor azul escuro representa o maior valor.

FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ( $r$ ) ENTRE PRECIPITAÇÃO MENSAL E EVI, DE 2001 A 2012, EM SERGIPE.



FONTE: A Autora (2016).

Legenda: Os valores de Coeficiente de Correlação ( $r$ ) são apresentados em um gradiente de cores onde a cor amarela representa o menor valor e a cor azul escuro representa o maior valor.

A FIGURA 15 apresenta o mapa da distribuição de  $r$  para NDVI. Os *pixels* que apresentaram maior  $r$ , ou seja, onde a variação da precipitação mensal explica grande parte da variação de NDVI (cerca de 57%), são aqueles encontrados no norte do Estado, na região do Semi-árido (cor azul escura no mapa). Além disso, áreas em azul escuro e azul ciano são observadas também no Agreste, na região sul do Semi-árido e em parte do Litoral Úmido. Algumas áreas na faixa litorânea, correspondentes às áreas de vegetação de restinga, também apresentam os maiores valores de  $r$  para a relação NDVI x precipitação mensal.

Barbosa (1998) cita que a precipitação causa efeitos diversos no NDVI, dependendo do tipo de clima e vegetação predominante na área em que se está estudando. Para Nezlin et al. (2005), o NDVI apresenta correlação plausível com a precipitação. Becerra et al. (2015), analisando como o padrão de precipitação anual influencia a sazonalidade da vegetação no bioma Caatinga, obteve um  $r = 0,55$  entre precipitação e NDVI. Em estudo realizado por Gurgel e Ferreira (2003), os autores abordaram as relações entre a cobertura vegetal, utilizando dados de NDVI, e a variabilidade climática anual e interanual no Brasil no período de janeiro 1982 a dezembro de 1993. Os autores observaram resposta satisfatória do NDVI, que apresentou um padrão bem definido em relação aos períodos chuvoso e seco e concluíram que a alta correlação encontrada no estudo indica que a variabilidade anual da cobertura vegetal no território brasileiro é modulada, em grande parte, pelo regime climático.

A FIGURA 16 exibe a distribuição espacial de  $r$  entre EVI e precipitação mensal no Estado de Sergipe. Partindo dos pressupostos da análise de regressão, a variação da precipitação mensal explica 61% da variação de EVI no norte de Sergipe, na região Semi-árida, representada pela cor azul escuro. Na região sul e noroeste do Semi-árido e no Agreste sergipano também houve boa correlação entre as variáveis, evidenciada pela cor azul ciano.

Nunes et al. (2007), realizaram um estudo em quatro fitofisionomias no bioma Amazônia comparando a variação sazonal do nível de biomassa, entre 2004 e 2005, utilizando dados do sensor MODIS e precipitação mensal. Os autores verificaram que os menores valores de EVI acompanharam os menores níveis pluviométricos. Jamali et al. (2011), em estudo em locais da África sub-saariana, entre 2005 e 2009, concluíram que houve forte correlação do NDVI e EVI com a precipitação, sendo o EVI ligeiramente superior do que o NDVI. Becerra et al. (2009), comparando EVI e NDVI com o padrão de precipitação em seis classes de uso e cobertura da terra no Cerrado, em Tocantins, concluíram que o EVI mostrou maior relação com o padrão de precipitação, se comparado com o NDVI.

De acordo com Barbosa (1998), o total pluviométrico anual é um atributo de habitat, que afeta o atributo fisionomia e que, por sua vez, afeta a reflectância. Outrossim, a variabilidade espaço-temporal de precipitação influencia a resposta dos índices de vegetação, ainda que estes índices não apresentem resultados semelhantes devido ao modo como são calculados. Goltz et al. (2007), estudando índices de vegetação no pantanal sulmatogrossense, concluíram que as imagens com valores de máximo índice de vegetação, tanto NDVI quanto o EVI, corresponderam à época que coincidia com o pico de precipitação, enquanto as imagens com valores de mínimo índice de vegetação apareceram em épocas de seca.



O estudo de Espig et al. (2006) utilizou imagens NDVI e EVI em seis áreas da região Semi-árida do Brasil com ocorrência do bioma Caatinga, nos anos de 2003 e 2004. Os autores observaram a variação sazonal dessas seis áreas e concluíram que os valores mais elevados de EVI e NDVI ocorreram nos meses de maiores valores de precipitação. Assad et al. (1988), comparando os valores de índice de vegetação com as alturas pluviométricas para todo o Estado de Minas Gerais, concluíram que as variáveis, índices de vegetação e pluviosidade, apresentaram correlação de  $r = 0,77$ .

De posse dos mapas de  $r$  de ambos os índices avaliados (FIGURAS 15 e 16), nota-se que a variação de precipitação mensal exerce maior influência na variação de EVI em detrimento da variação de NDVI. No entanto, o mapa de  $r$  de NDVI exhibe mais áreas (maior quantidade de *pixels*) em azul escuro, ciano e verde, e poucas áreas em amarelo (menores  $r$ ), distinguindo-se moderadamente do mapa de EVI. Essa diferença da distribuição de  $r$  entre os índices é mais pronunciada no litoral de Sergipe, onde as séries temporais de NDVI (FIGURA 9), apresentadas no tópico 4.2, apresentaram valores mais altos nessa região, próximos a 0,8. Ressalta-se que esta região é caracterizada, segundo uso da terra do Estado, por vegetação de restinga e que, na análise das séries temporais de NDVI, este índice apresentou-se mais sensível em detectar este tipo de vegetação em relação ao EVI. Por se tratar de uma região com regime de precipitação mais regular, onde chove durante grande parte do ano, é evidente constatar uma maior relação entre esta variável e o NDVI.

Como citado anteriormente, os maiores  $r$  para EVI e NDVI foram evidenciados nas regiões do Semi-árido e parte do Agreste sergipano. Estas são regiões caracterizadas por diferentes fitofisionomias correspondentes à Caatinga e à Mata Atlântica, além de áreas de pastagem e cultivos agrícolas. No Semi-árido, destacam-se fitofisionomias como caatinga arbórea e caatinga arbustiva. Esse tipo de vegetação de Caatinga, via de regra, apresenta uma resposta acentuada à ocorrência de precipitação, sobretudo na época chuvosa.

A precipitação na região Semi-árida é fator determinante do início de estação de crescimento da cobertura vegetal (ARAI et al., 2009). A Caatinga é característica da região semi-árida e sua vegetação é tipicamente formada por arbustos tortuosos e árvores finas de pequeno porte; as folhas são pequenas e modificadas em espinhos para evitar a perda de água e, além disso, a vegetação apresenta queda das folhas na época de estiagem, ou seja, em grande parte do ano, no caso da região semi-árida sergipana. Com base nessas características, entende-se que o aspecto da vegetação da Caatinga em épocas de estiagem distingue-se da época chuvosa, considerando que, em épocas de déficit hídrico, há a redução dos valores de reflectância em resposta a redução do IAF, em virtude desta vegetação ser caducifólia. Ressalta-

se que índices de vegetação, como o EVI e o NDVI, são fortemente correlacionados com o IAF e a biomassa (FONTANA et al., 2005).

Em contrapartida, com a chegada da época chuvosa, a vegetação da Caatinga apresenta resposta positiva à precipitação, aproveitando a disponibilidade de água para o crescimento vegetativo e, como consequência, é exibido um "tapete verde", ou o chamado verdejamento, nestas regiões, referente à formação e desenvolvimento das folhas. A maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes absorve, com maior intensidade, a radiação na faixa do vermelho, e uma forte reflectância é registrada na faixa do infravermelho próximo, em decorrência da incapacidade dos estratos vegetativos em absorver ou transmitir esse tipo de radiação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Segundo Dalla Nora e Santos (2010), essa condição é o fator que determina os valores mais expressivos de índices de vegetação durante os meses ocorrência de precipitação mais significativa.

A influência da precipitação influi de forma rápida nas vegetações arbóreas e arbustivas de regiões mais secas do que em florestas características de regiões com altos índices pluviométricos, como é o caso de tipologias da Mata Atlântica, onde há, geralmente, maior densidade vegetal, dossel sempre presente e indivíduos de grande porte. Nestas regiões, o aumento dos índices de vegetação não ocorre imediatamente após o início da estação chuvosa e, sobretudo em florestas que não apresentam caducifolia, a presença de folhas é permanente, ou seja, a reflectância do dossel não apresenta grande variação, quando comparada às áreas de Caatinga. O “tapete verde” está presente na maior parte do tempo, justificando uma menor relação entre esse tipo de vegetação e as variações de precipitação. De acordo com Huete et al. (2006), a disponibilidade hídrica das áreas de floresta propiciaria uma estabilidade na atividade fotossintética e consequente produção de fitomassa foliar mantida (ou com pequena queda) na época seca.

Becerra et al. (2009) avaliaram a relação entre EVI/NDVI e precipitação em seis classes de uso e cobertura da terra (agricultura-pastagem, agricultura, campo cerrado, cerrado *strictu sensu*, cerradão e floresta), em Tocantins. Dentre as conclusões, os autores apontaram que, com base nos valores de  $r$  encontrados, as classes de uso e cobertura da terra apresentam um padrão sazonal relacionado com a sazonalidade da precipitação, com exceção da classe floresta, pois esta cobertura vegetal não apresentou relação direta com precipitação. Santos e Brito (2007), investigando a influência de índices de detecção de mudanças climáticas sobre o NDVI do Agreste, Zona da Mata, Litoral e Sertão, no Rio Grande do Norte e na Paraíba, concluíram que os índices extremos de chuva, com exceção para os dias consecutivos secos, demonstraram forte correlação com a dinâmica vegetativa do bioma Caatinga, identificando



que o NDVI no sertão é mais dependente dos extremos de precipitação do que o da região do leste, composto pelo bioma Mata Atlântica.

Ao analisar comparativamente a resposta das fitofisionomias da Mata Atlântica encontradas no Estado de Sergipe, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila, é pertinente comentar que, em áreas de Floresta Estacional Semidecidual, há uma maior propensão a uma maior relação entre índices de vegetação e precipitação, visto que esta fisionomia vegetal apresenta caducifolia, variando seu padrão espectral à medida em variam as condições climáticas. A Floresta Ombrófila, por sua vez, é perenifólia, com dossel emergente e sempre verde, associada a ambientes com altos índices pluviométricos e, geralmente, em regiões litorâneas. Os valores de  $r$  podem ser menores nestas florestas devido à pouca variação da reflectância do dossel em função da ocorrência de chuvas.

Os maiores valores de  $r$  foram encontrados também nas áreas de pastagem e cultivos agrícolas. Nestas classes, a precipitação exerce grande influência no vigor na vegetação e os índices de vegetação variam em função da ocorrência de chuva, ocorrendo perda do vigor da pastagem e dos cultivos agrícolas no período seco e ganho no período chuvoso.

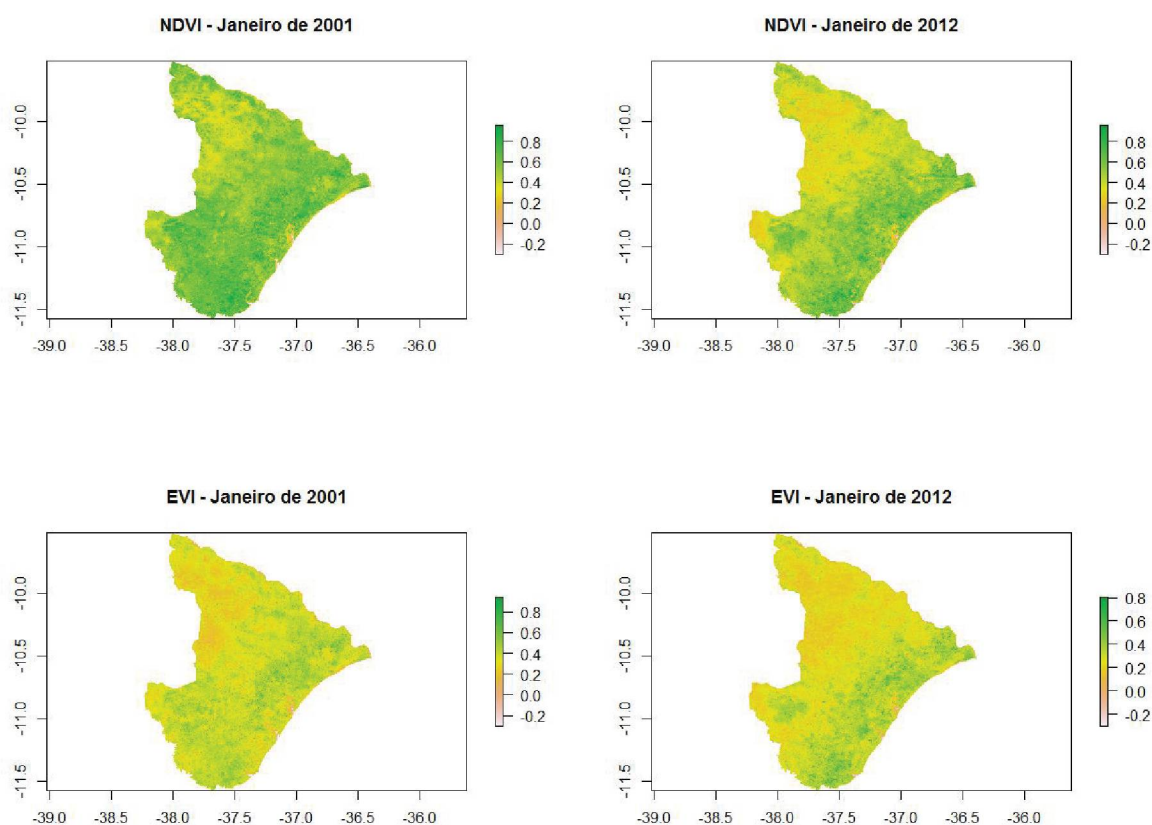
Na região climática do Litoral Úmido, evidenciam-se os menores valores de  $r$ , com índices próximos de zero. Como citado no item 4.2, nesta região do Estado localizam-se alguns dos municípios mais urbanizados de Sergipe, o que resultou na antropização da região litorânea. Em áreas que foram submetidas ao processo de antropização, não é evidenciada a dependência dos índices com a precipitação, o que é explicitado pelos baixos valores de  $r$  para EVI e NDVI. O efeito urbano promove distorção na representatividade de índices de vegetação pois, segundo Barbosa (1998), existem múltiplos fatores envolvidos, como solo pavimentado, influência de rios e edifícios, espelhos d'água, entre outros, que impedem a captação pelo sensor da reflectância real da vegetação.

A baixa correlação entre precipitação e os índices NDVI e EVI em algumas áreas também pode ser resultado da conversão de áreas com presença de vegetação para áreas com outros usos no período compreendido na série temporal. Isto pode ser evidenciado ao se avaliar imagens referentes aos índices nos anos de 2001 e 2012, em janeiro e julho, exibidas na FIGURA 17. Para o mês de janeiro (mês com quantidade de precipitação reduzida no Estado), tanto para EVI quanto para NDVI, ao se analisar as diferenças entre os anos de 2001 e 2012, nota-se um aumento na quantidade de *pixels* que apresentam cores amarela e rosa claro, o que representa valores reduzidos para ambos os índices, demonstrando redução da cobertura vegetal. Essa mudança na distribuição espacial dos índices de vegetação ocorreu, sobretudo, na região do Semi-árido sergipano. Ademais, em julho, mês com maiores registros de precipitação

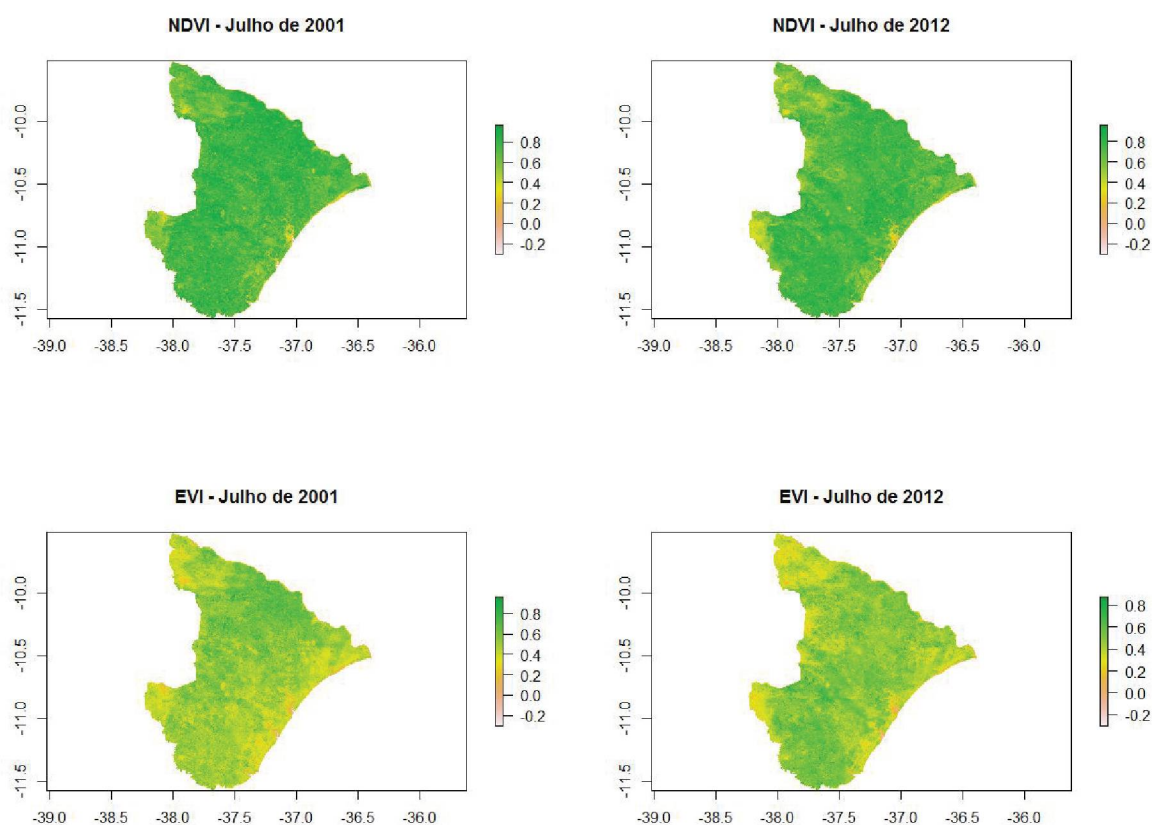
em Sergipe, também foi possível observar alterações na cobertura vegetal, baseadas nos valores dos índices de vegetação. Assim como no mês de janeiro, essas alterações ocorreram mais expressivamente na região semi-árida do Estado, muito embora as áreas com cor amarela e rosa claro sejam exibidas em menor quantidade em relação ao mês de janeiro, devido ao fato de julho ser um mês com maiores índices pluviométricos.

Além disso, a região do Litoral úmido, afora as áreas urbanas, é composta por dunas, regiões estuarinas e manguezais, alvos que apresentam reflectância diferente da vegetação, o que pode ter influenciado os baixos valores de  $r$  para a região. Também, esta região é composta por vegetação de restinga (formação vegetal de influência marinha). É possível observar nos mapas de  $r$  que, para o NDVI, este apresentou maior relação com a precipitação mensal nas áreas de vegetação de restinga.

FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NOS ANOS DE 2001 E 2012.





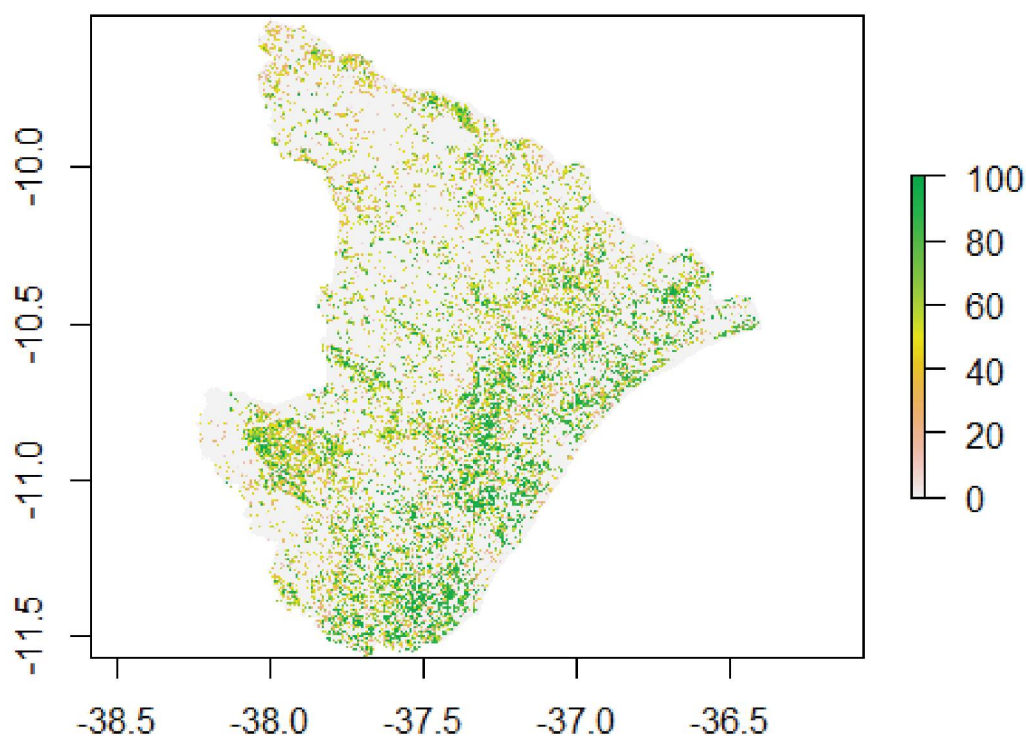


FONTE: A Autora (2016).

#### 4.4 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE EVI/NDVI E PRECIPITAÇÃO COM MUDANÇAS NA COBERTURA FLORESTAL

Utilizando os dados obtidos do estudo de Hansen et al. (2013), é possível contrastar os resultados já adquiridos com o mapa de percentual de cobertura florestal, no ano de 2000, apresentado na FIGURA 18. Salienta-se que a cobertura de copa das árvores (florestal), foi definida por Hansen et al. (2013) como o fechamento do dossel para toda a vegetação com altura superior a 5 m, variando de 0 a 100%.

FIGURA 18 - PORCENTAGEM DE COBERTURA FLORESTAL DO ESTADO DE SERGIPE NO ANO DE 2000.

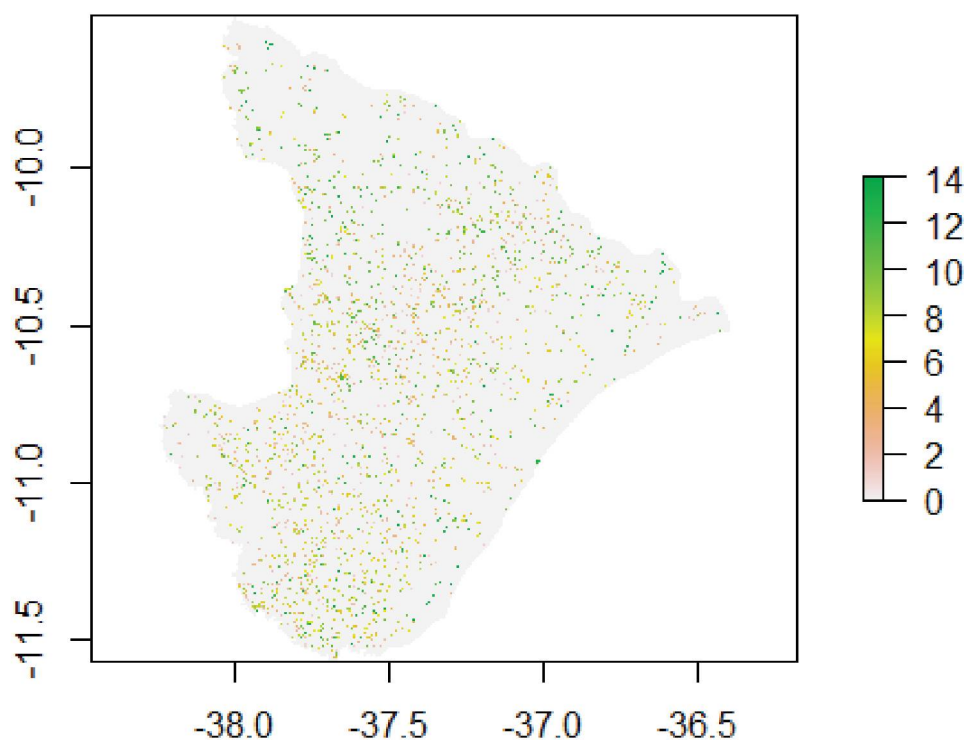


Mapa elaborado pela autora. FONTE: HANSEN et al. (2013).

As altas percentagens de cobertura vegetal, com valores acima de 80%, encontram-se distribuídas em todo o Estado; no entanto, a maior concentração de *pixels* representados por essa alta cobertura (cor verde escura na imagem), claramente, é encontrada na região do Litoral Úmido, região de predominância da Mata Atlântica. Os *pixels* que apresentam cores mais claras, de laranja claro a rosa claro, correspondem a uma cobertura entre 20 a 40%, distribuídos em todo o Estado, sobretudo, na região do Semi-árido sergipano. A cor cinza claro representa áreas sem dados, corpos d'água ou com 0% de cobertura vegetal.

A FIGURA 19 exibe a perda anual de cobertura vegetal no Estado de Sergipe, de 2000 a 2014, embora, neste trabalho, os dados limitem-se até o ano de 2012. É possível discernir o ano em que houve perda de cobertura ao analisar a imagem abaixo onde, para cada ano há uma cor atribuída. Não foram consideradas as perdas ocorridas nos anos de 2013 e 2014.

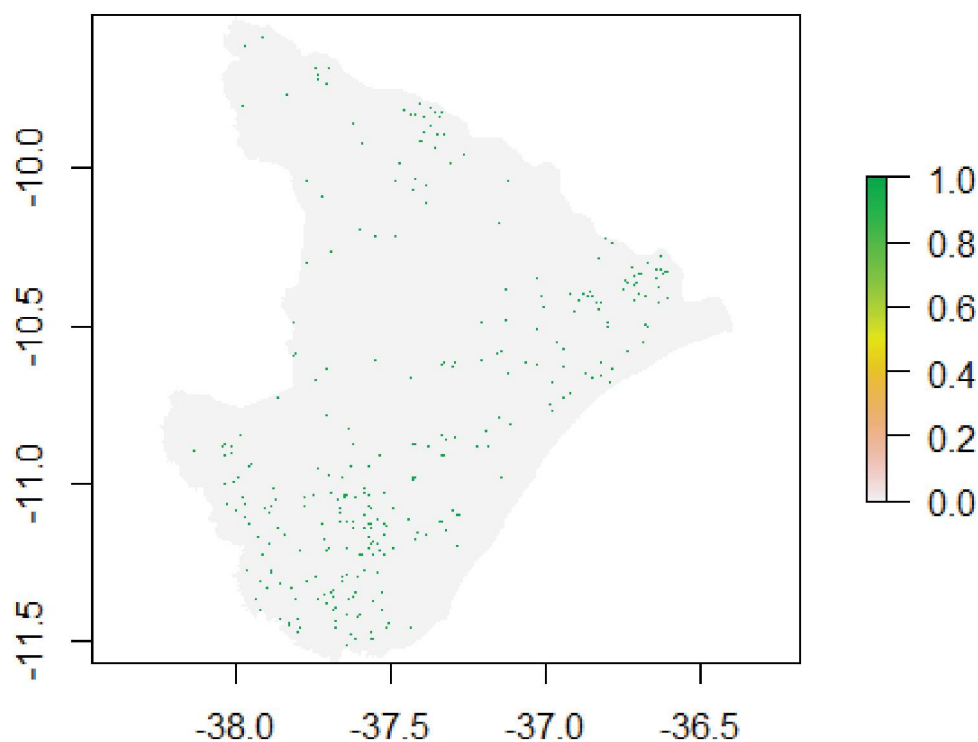
FIGURA 19 - PERDA ANUAL DE COBERTURA FLORESTAL NO ESTADO DE SERGIPE, DE 2000 A 2014.



Mapa elaborado pela autora. FONTE: HANSEN et al. (2013)

Ressalta-se que este mapa de perda anual a desagregação do total de perda de floresta para escalas de tempo anuais. As perdas mais recentes, 2010 em diante, ocorreram na região norte do Semi-árido. Nas regiões centro-sul e sul do Estado também é observada a concentração de *pixels*, evidenciando evento significativo de perda florestal. Verifica-se que estas perdas foram sofridas, sobretudo, entre os anos de 2002 a 2006, o que é expressado por *pixels* de cores rosa claro a amarelo na imagem. De forma complementar ao mapa de perda anual, a FIGURA 20 exibe o mapa de ganho de cobertura florestal em Sergipe. O ganho de cobertura florestal foi definido por Hansen et al. (2013) como o inverso da perda, ou mudança da condição de não-floresta para floresta, no período de 2000-2012. Na imagem são exibidas apenas duas cores onde verde representa o valor 1, ganho, e a cor cinza representa o valor 0, sem ganho.

FIGURA 20 - GANHO DE COBERTURA FLORESTAL NO ESTADO DE SERGIPE, DE 2000 A 2012.



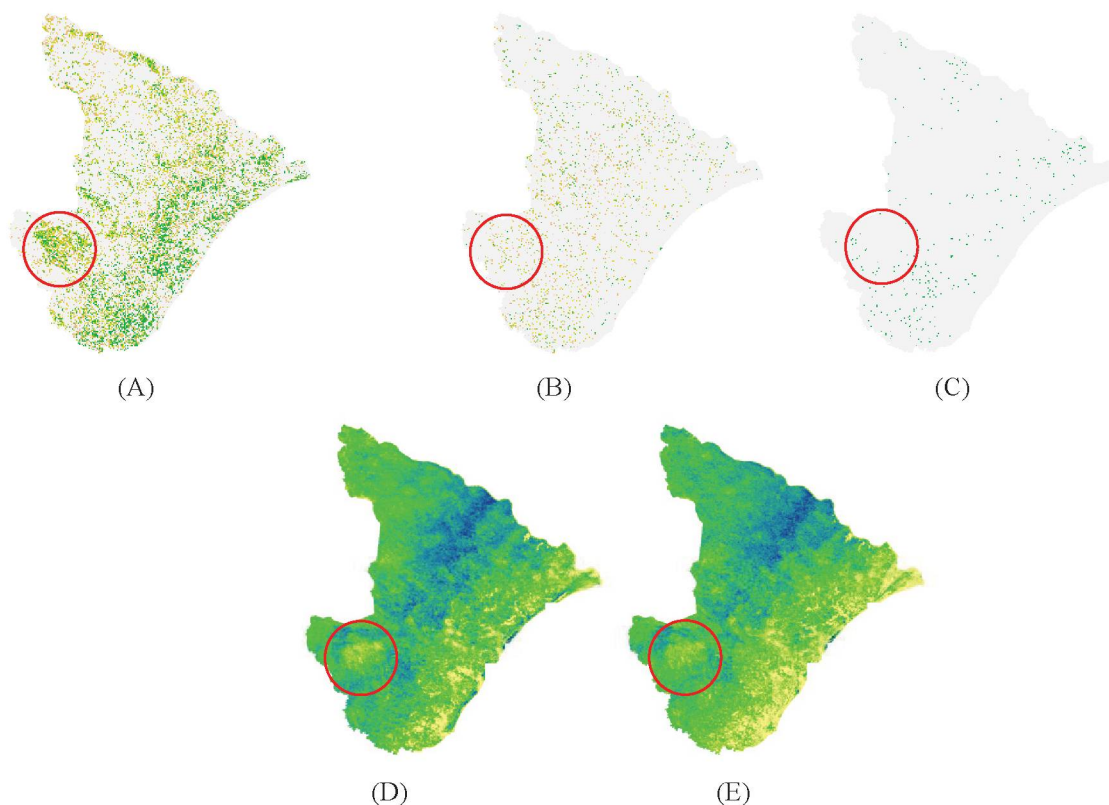
Mapa elaborado pela autora. FONTE: HANSEN et al. (2013)

Os ganhos de cobertura florestal em Sergipe, de 2000 a 2012, não foram muitos e, os que ocorreram, foram evidenciados nas regiões sul do Estado, além de parte na região do Litoral Úmido. Ganhos de cobertura florestal também são exibidos na região Semi-árida, porém de forma mais esparsa

De posse dessas imagens, é possível constatar as mudanças na cobertura florestal de Sergipe com os mapas de  $r$  para NDVI e EVI, exibidos no tópico anterior. Na FIGURA 21 é demonstrado um exemplo da mudança na cobertura florestal de Sergipe e seu efeito na relação entre índices de vegetação e precipitação.



FIGURA 21 - EXEMPLO DA INFLUÊNCIA DA MUDANÇA NA COBERTURA FLORESTAL NA RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X ÍNDICES DE VEGETAÇÃO



FONTE: A Autora (2016).

Na FIGURA 21, na região centro-sul do Estado de Sergipe, é notável a existência de cobertura florestal na área circulada em vermelho (A), a ocorrência de perda expressiva de cobertura florestal (B) ao longo da série temporal avaliada, ao passo em que não houve ganho significativo de área florestal na mesma área (C). Simultaneamente, ao avaliar as imagens 21D e 21E, referentes ao  $r$  entre precipitação mensal e NDVI e EVI, respectivamente, nota-se que a relação entre estas variáveis foi baixa nesta região.

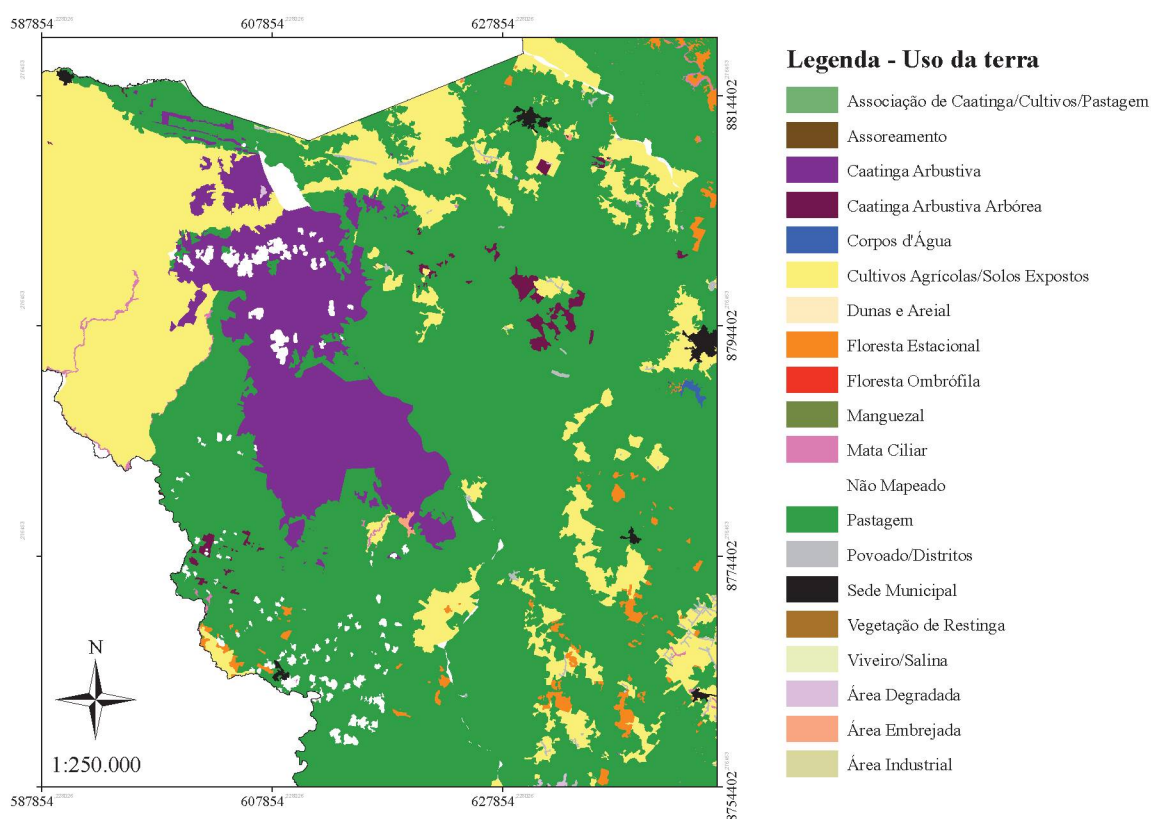
A baixa relação entre NDVI/EVI e a precipitação mensal pode ser proveniente dessa perda de cobertura florestal, entendendo-se que a mudança de uma condição florestal para não-florestal, por desmatamento, por exemplo, influi na resposta da vegetação à ocorrência de chuva influenciando, por conseguinte, na resposta dos índices de vegetação. No entanto, essa baixa relação também pode ser resultado da defasagem na resposta da vegetação à ocorrência de chuva.

As séries temporais permitem detectar mudanças evidenciadas nas áreas de análise especificadas e, segundo Bayma (2015), estas mudanças ocorridas em função de alterações no uso ou da cobertura da vegetação podem estar ou não relacionadas à supressão da vegetação, o

que pode levar à conclusão de que determinada área pode ter sido desmatada. A incerteza na conclusão sobre a ocorrência de desmatamento existe porque outras interferências nos valores das séries históricas de EVI e de NDVI podem levar à interpretação errônea de que houve supressão da vegetação nativa (BAYMA, 2015).

Conforme o mapa de uso da terra, a região em questão, circulada em vermelho na FIGURA 21, apresenta como principais usos as classes Caatinga Arbustiva, Pastagem, Cultivos Agrícolas/Solos Expostos e Caatinga Arbustiva Arbórea, como exibido na FIGURA 22.

FIGURA 22 - DETALHE DE USO DA TERRA NO ESTADO DE SERGIPE.



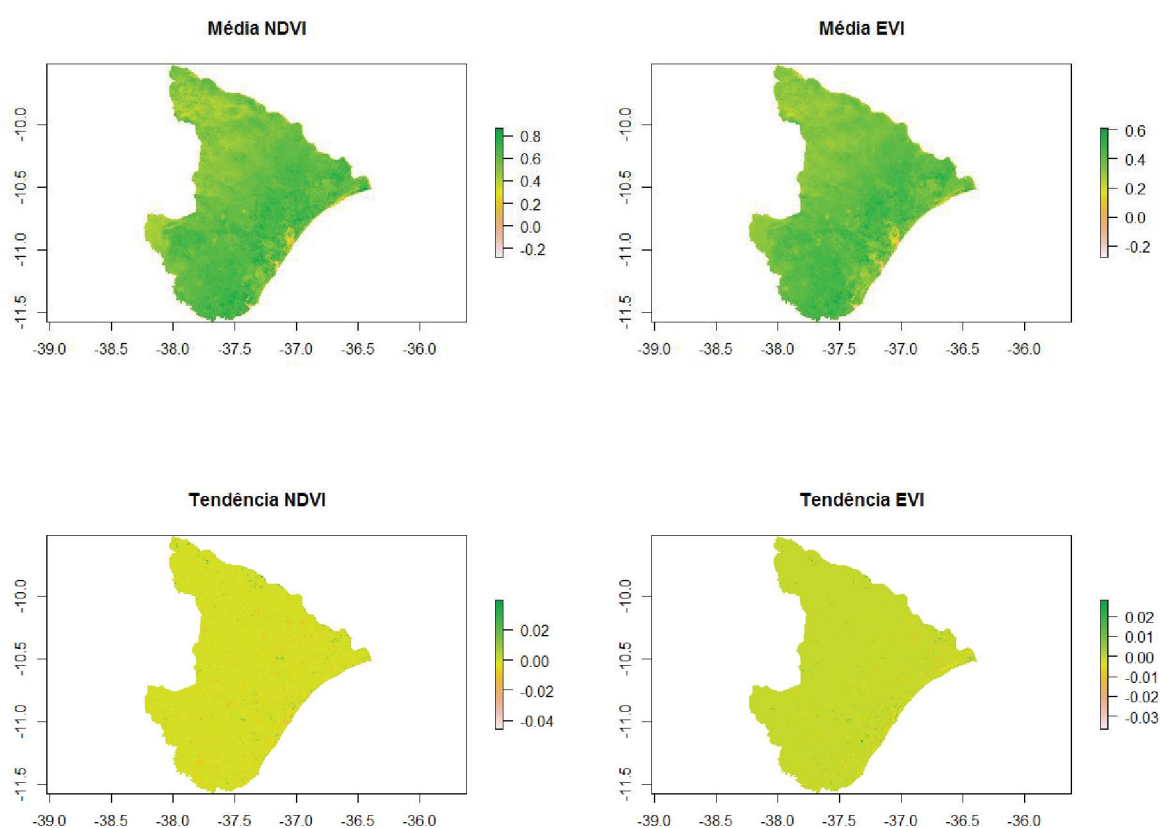
Mapa elaborado pela autora. FONTE: SERGIPE (2012).

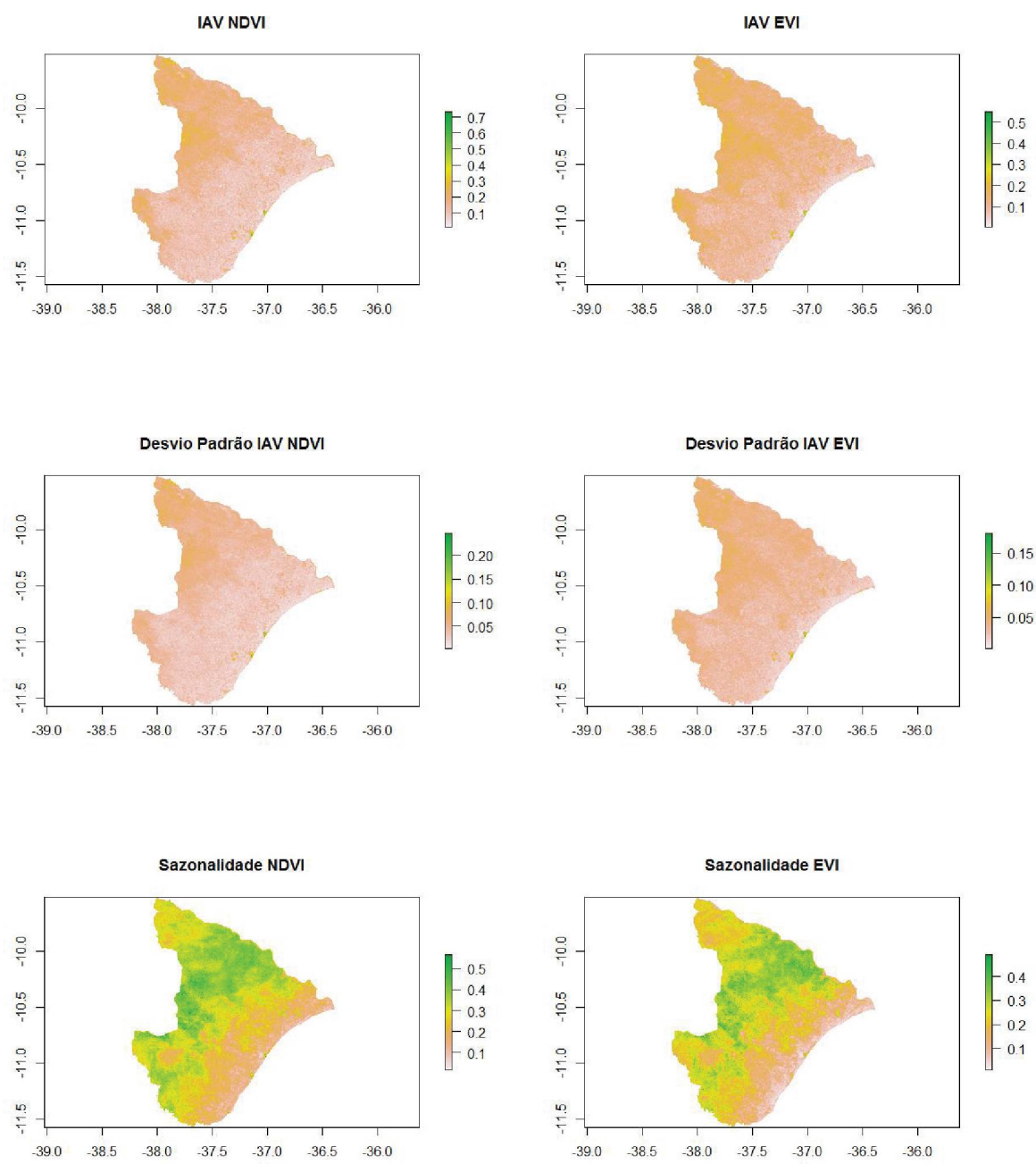
Majoritariamente, a área em questão é caracterizada pelas classes Pastagem e Caatinga arbustiva. É possível que tenham ocorrido mudanças na classe Pastagem, ocasionando uma baixa relação entre a precipitação e as áreas de pastagem. Franco e Rosa (2003) citam que, com o passar do tempo, após o seu estabelecimento, uma pastagem vai aos poucos perdendo o seu vigor vegetativo e consequentemente diminuindo a sua capacidade de produção de forragem e sua cobertura vegetal do solo.

#### 4.5 ANÁLISE DE SAZONALIDADE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SERGIPE

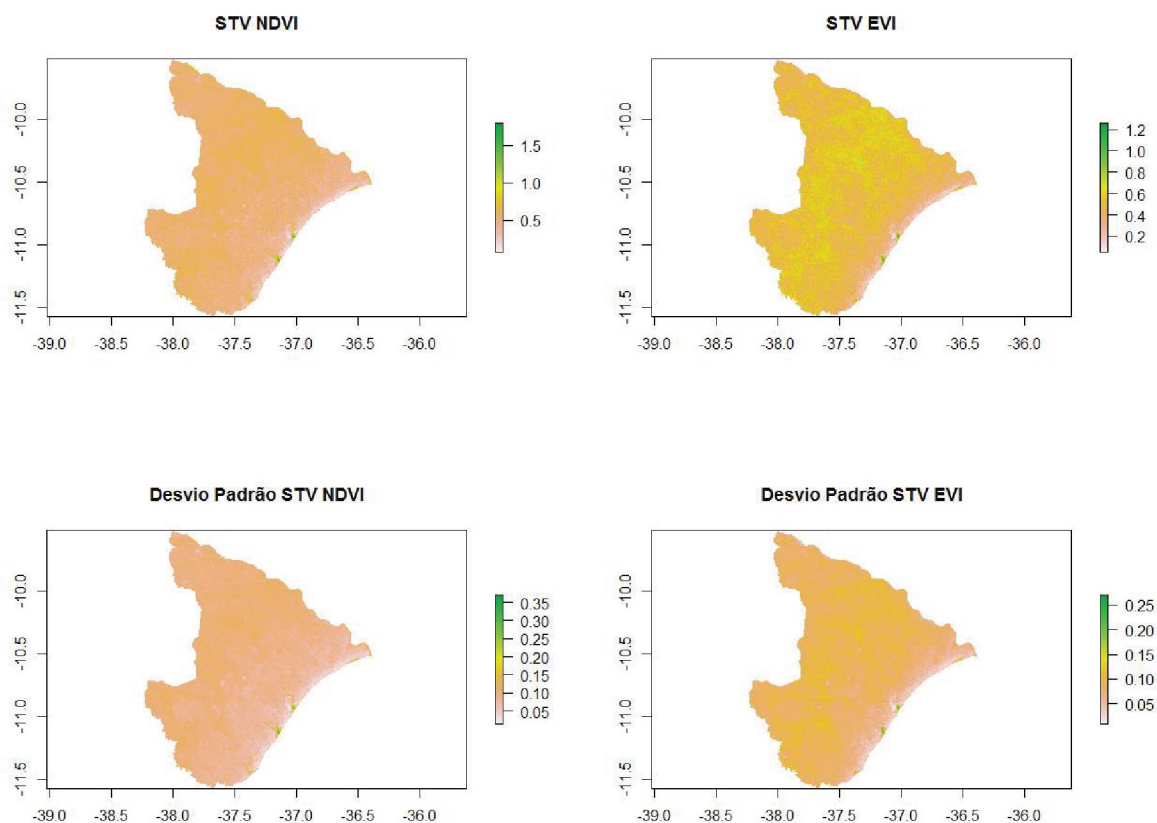
Na análise realizada pelo pacote *greenbrown* foram obtidos os parâmetros das séries temporais para o Estado de Sergipe, que são apresentados na FIGURA 23, onde A representa a imagem referente ao NDVI e B referente ao EVI. Para todos os parâmetros, o gradiente de cor varia do branco (menor valor) ao verde escuro (maior valor).

FIGURA 23 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS OBTIDOS PELO GREENBROW CALCULADOS PARA AS SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E EVI.









FONTE: A Autora (2016).

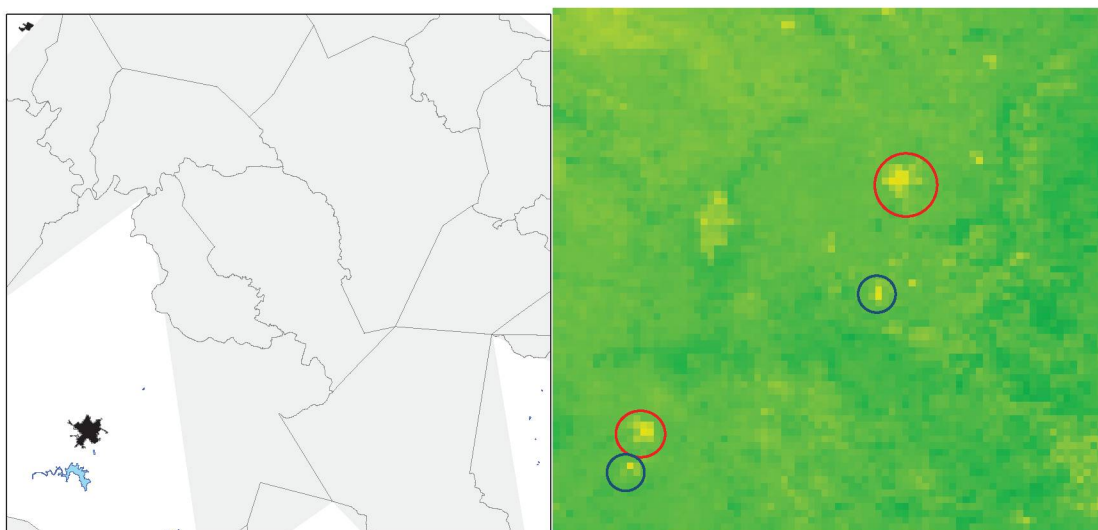
Com relação à Média da série temporal, os índices de vegetação apresentaram resultados semelhantes quanto à avaliação espacial da variação de cores. A amplitude dos índices, no entanto, foi diferente. O NDVI apresentou valores de máximo superiores ao EVI. Isto ocorre porque o NDVI tende a saturar mais rápido, quando comparado ao EVI, como demonstrado no item 4.2. Os menores valores, para ambos os índices de vegetação são observados em áreas urbanas e, também, em corpos d'água. A FIGURA 24 exibe em detalhe algumas áreas urbanas (representadas por sedes municipais) e corpos d'água em Sergipe, e a respectiva imagem NDVI.

Ao analisar o parâmetro Tendência, para os dois índices, nota-se que, na maior parte dos *pixels* da imagem, a tendência foi próxima a zero (cor amarelo-esverdeada em ambos os mapas). Isto significa dizer que não houve mudança no parâmetro tendência nestas áreas sendo que, para NDVI a tendência foi mais próxima de zero (cor mais próxima do amarelo). Alguns *pixels* nas regiões noroeste e litoral úmido apresentaram tendência positiva, o que pode significar ganho de biomassa nestas áreas. As áreas com tendência negativa, por sua vez, são encontradas ditribuídas em todo o Estado, sendo que a imagem referente ao NDVI apresentou

mais *pixels* com tendência negativa, o que pode ser um sinal de desmatamento, degradação ou mudança no uso do solo.

A variação interanual corresponde à variação das anomalias anuais. O NDVI apresentou uma amplitude maior de IAV. Ao comparar os índices de vegetação, o parâmetro IAV mostrou uma distribuição maior de valores próximos a zero para NDVI (áreas de rosa claro a branco), assumindo valores menores de índice que o EVI, este último sendo mais sensível às variações de cobertura vegetal.

FIGURA 24 - DETALHE DE ALGUMAS SEDES MUNICIPAIS E CORPOS D'ÁGUA EM SERGIPE E RESPECTIVA IMAGEM EM DETALHE DA MÉDIA DA SÉRIE TEMPORAL NDVI. NA CENA NDVI, OS CÍRCULOS VERMELHOS E AZUIS REPRESENTAM AS SEDES MUNICIPAIS E CORPOS D'ÁGUA, RESPECTIVAMENTE.



FONTE: SERGIPE (2012); A Autora (2016)

Na região semi-árida, para os dois índices, alguns *pixels* exibem a cor amarela, demonstrando que houve variação interanual (próximo a 0,4 e 0,3 para NDVI e EVI, respectivamente). Estas áreas são caracterizadas, em sua maioria, por pastagens (vide FIGURA 4). De fato, as pastagens apresentam variações ao longo dos anos, considerando que este é um tipo de uso da terra que varia em função das variações do regime climático, por exemplo, como já demonstrado anteriormente, promovendo alterações no vigor da pastagem.

A região do litoral úmido do Estado, além de pastagens, exhibe diversos outros usos (Floresta Ombrófila, Floresta Estacional Semidecidual, entre outros), que possuem diferentes

respostas dos índices de vegetação e, logo, o IAV nesta região apresentou os menores valores, pois são usos que não apresentam grandes variações ao longo do ano.

No tocante ao parâmetro sazonalidade, para ambos os índices de vegetação, as regiões do Litoral Úmido, Semi-árido e Agreste apresentaram sazonalidade próxima a zero, o que é evidenciado pelas cores branca e rosa claro na imagem. É pertinente comentar que estas áreas representadas pelas cores branca a rosa claro são caracterizadas, principalmente, por áreas de remanescentes nativos (Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila), áreas antropizadas e cultivos agrícolas/solos expostos, como já exibido no mapa de uso da terra (FIGURA 4).

Áreas referentes à parte do Semi-árido e parte do Agreste, no entanto, exibiram os maiores valores de sazonalidade, o que evidencia que nestas regiões há determinada periodicidade nas alterações dos valores dos índices de vegetação avaliados. Nestas áreas ocorrem, sobretudo, usos da terra como Pastagem, Caatinga arbustiva e Associação Caatinga/Cultivo/Pastagem.

Ao analisar NDVI e EVI, nota-se que o EVI apresentou mais áreas com sazonalidade próxima a zero. O EVI apresentou uma menor amplitude sazonal e menos áreas que apresentaram sazonalidade próxima a 0,4 (maior valor).

O parâmetro STV corresponde à variação intra-anual, que ocorre dentro de um mesmo ano. Os valores referentes à STV para NDVI e EVI foram semelhantes, considerando que as cores variam em função da amplitude dos valores de STV e a amplitude para NDVI foi maior. Para NDVI, grande parte do mapa exibiu valores de STV entre zero e 0,5. Partindo do conceito de STV, entende-se que, ao utilizar este índice de vegetação, não houve variações intra-anuais expressivas no Estado ao longo da série temporal. Isto torna-se verossímil ao considerar que o NDVI tende a saturar rápido e, assim, ao longo da série temporal apresentou valores altos, com pouca variação ao longo do ano.

Com relação ao EVI, a imagem STV exibiu distribuição de valores entre 0,6 e 0,8, em todo o Estado de Sergipe. Os maiores STV são observados na região do Agreste e Semi-árido do Estado, onde ocorrem pastagens, cultivos agrícolas e associações entre Caatinga, cultivos e pastagens. Essas classes de uso do solo sofrem algumas intervenções ao longo do ano. Por exemplo, com a variação do clima durante o ano as pastagens podem perder ou aumentar o vigor de sua cobertura vegetal, bem como os cultivos agrícolas (o vigor dos cultivos também depende das condições climáticas, determinando os períodos de safra e entressafra) e a vegetação da Caatinga que, como visto, perde ou desenvolve suas folhas a depender das condições



climáticas. Além disso, eventos como queimadas e rebrotas, entre outros, caracterizam-se como mudanças intra-anuais, fazendo com que esse índice STV seja mais alto.

Os parâmetros obtidos pela análise de sazonalidade apresentaram uma amplitude maior quando da utilização do NDVI. O EVI, por sua vez, apresentou uma amplitude menor, no entanto, permitiu o discernimento de *pixels* (mais áreas) com valores distintos, ou seja, com características diferentes para todos os parâmetros analisados. Isto porque o EVI mostrou-se mais sensível às variações de cobertura vegetal e, conseqüentemente, houve maior separabilidade entre os diferentes valores dos parâmetros. Ginciene e Bitencourt (2011), avaliaram o desempenho do EVI em relação ao NDVI para a detecção de variações ocorridas entre o período de 1995 e 2005, em fragmentos de floresta estacional semidecidual e concluíram que o EVI se mostrou mais sensível à detecção de mudanças na vegetação.

Bayma (2015) cita que é importante avaliar a capacidade de as séries temporais de índices de vegetação NDVI e EVI propiciarem informação suficiente para possibilitar a diferenciação na mudança de comportamento espectral da vegetação, de modo a predizer se houve ou não desmatamento ou alteração nas classes de vegetação nativa e de uso da terra. O conhecimento da dinâmica temporal da vegetação revela padrões, processos e mecanismos, que podem ser usados para realizar previsões e orientar estratégias de proteção e conservação dos recursos florestais (DALLA NORA; SANTOS, 2010).



## 5 CONCLUSÃO

Considerando que o vigor da vegetação é propenso a alteração à medida em que se altera a quantidade de água disponível, faz-se pertinente analisar a relação entre os regimes pluviométricos e os índices de vegetação. Fundamentado nos resultados obtidos, conclui-se que:

- A precipitação em Sergipe distribui-se heterogeneamente entre as regiões climáticas, apresentando menores e maiores índices pluviométricos na região Semi-árida e Litoral Úmido, respectivamente;
- A região Semi-árida de Sergipe exibe os menores valores de NDVI e EVI, durante quase todo o ano, com exceção dos meses que coincidem com a época chuvosa no Estado. Também, as regiões caracterizadas por áreas urbanas apresentaram os menores valores dos índices, sobretudo para EVI. O NDVI, em geral, exibe maiores valores que o EVI, assumindo que há uma maior densidade de biomassa. O EVI, por sua vez, mostrou-se mais sensível às variações de cobertura vegetal;
- O desempenho dos índices de vegetação NDVI/EVI é afetado pela precipitação pluvial mensal no Estado de Sergipe;
- Os índices de vegetação apresentaram boa correlação com a precipitação. NDVI e EVI mostraram relação de 57% e 61% em alguns *pixels*, respectivamente. Os maiores *r* para NDVI e EVI foram evidenciados nas regiões do Semi-árido e parte do Agreste sergipano, regiões caracterizadas por diferentes fitofisionomias correspondentes à Caatinga e à Mata Atlântica, além de áreas de pastagem e cultivos agrícolas. As menores correlações, por sua vez, foram observadas em áreas urbanas e regiões de fragmentos de Mata Atlântica.
- A utilização da ferramenta *greenbrown* a partir de índices de vegetação pode auxiliar na determinação dos diferentes usos da terra e da relação entre estes usos e a precipitação.

## **6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Neste trabalho foi utilizada a metodologia de análise de regressão simples para a determinação da correlação entre índices de vegetação e precipitação. Recomenda-se utilizar de diferentes análises que não a regressão simples. Para Becerra et al. (2015), esta relação obedece a uma função logarítmica que indica que em regiões com sazonalidade fortemente pronunciada (regiões mais áridas), incrementos de precipitação acompanham a rápidos incrementos de vegetação (incrementos nos valores dos índices) já em regiões com maior estação chuvosa, os mesmos incrementos de precipitação são acompanhados por incrementos menores de vegetação, quando comparado com as regiões mais secas. Outrossim, recomenda-se que seja realizada a análise entre índices de vegetação e precipitação utilizando dados com melhor resolução espacial.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. S.; BATISTA, G. T. **Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia**. Santos - SP. 1998. Disponível em: <[http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/07.20.14.26/doc/2\\_72o.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/07.20.14.26/doc/2_72o.pdf)> Acesso em: 23 de jan. de 2016.
- ALMEIDA, J. A. P.; OLIVEIRA, P. J. **Sensoriamento Remoto I**. São Cristóvão - SE. 2010. Disponível em: <[http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/18531116022012Sensoriamento\\_Remoto\\_I\\_Aula\\_7.pdf](http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/18531116022012Sensoriamento_Remoto_I_Aula_7.pdf)> Acesso em: 15 de jan. de 2016.
- AMARAL, B. F. D., GONÇALVES, R. R. V., ROMANI, L. A. S., SOUSA, E. P. M. D. **Aprimorando a classificação semissupervisionada de séries temporais extraídas de imagens de satélite**. 2th Symposium on Knowledge Discovery, Mining and Learning. 2014.
- ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Sensor MODIS: Uma abordagem geral**. São José dos Campos. 2003. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/268337770\\_SENSOR\\_MODIS\\_UMA\\_ABORDAGEM\\_GERAL](https://www.researchgate.net/publication/268337770_SENSOR_MODIS_UMA_ABORDAGEM_GERAL)> Acesso em: 24 de mar. de 2016.
- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na bacia do rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande – PB, v. 15, p. 731-740, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n7/v15n07a12.pdf>> Acesso em: 13 de fev. de 2016.
- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o Estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária, **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande – PB, v. 17, p. 243-252, 2013. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v17n03/v17n03a01.pdf>> Acesso em: 13 de fev. de 2016.
- ARAI, E.; ADAMI, M.; FREITAS, R. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; RAO, V. B.; MOREIRA, M. A. **Análise de séries temporais MODIS e TRMM nas áreas de caatinga, cerrado e floresta**. Natal - RN. 2009. p. 5081-5088. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.53.52/doc/5081-5088.pdf>> Acesso em: 25 de nov. de 2016.
- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E. T.; HATFIELD, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat, **Agronomy Journal**, v.76, n. 2, p. 300-306, 1984.
- ASSAD, E. D.; SETZER, A.; MOREIRA, L. **Estimativa de precipitação através dos índices de vegetação do satélite NOAA**. Natal - RN. 1988. p. 425-429. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2008/07.24.17.27/doc/425-429.pdf>> Acesso em: 22 de nov. de 2016.
- ÁVILA, L.F.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na Serra da Mantiqueira, MG,



**Ciência florestal**, Santa Maria – RS, v. 24, n. 3, p. 583-595, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/4822/9524>> Acesso em: 11 de dez. de 2016.

BAMBINI, M. D.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S.; OTAVIAN, A. F.; KOENIGKAN, L. V.; EVANGELISTA, S. R. M. **Manual on-line do Sistema Agritempo versão 2.0**. 2015. Disponível em: <[https://www.agritempo.gov.br/agritempo/arquivos/Manual\\_Agritempo.pdf](https://www.agritempo.gov.br/agritempo/arquivos/Manual_Agritempo.pdf)> Acesso em: 23 de set. 2016.

BARBOSA, H. A. **Análise espaço-temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85**. 1998. 169f. Dissertação – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos campos. 1998.

BAYMA, A. P. **Análise do potencial de séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma cerrado**. 2015. 99f. Dissertação – Universidade de Brasília, Brasília. 2015. Disponível em: <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18115/1/2015\\_AdrianaPanhofBayma.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18115/1/2015_AdrianaPanhofBayma.pdf)> Acesso em: 12 de jun. de 2016.

BECERRA, J. A. B.; CARVALHO, S.; OMETTO, J. P. H. B. **Relação das sazonalidades da precipitação e da vegetação no bioma caatinga: abordagem multitemporal**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, p. 6668-6674, 2015.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação, **Revista brasileira de meteorologia**, v. 24, p. 125-134, 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.22.22.42/doc/3747-3754.pdf>> Acesso em: 14 de jun. de 2016.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas e sensores inovadores**. 2ª. Edição, São Paulo: Oficina de Textos, 304 p., 2007.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

BORGES, L. A. Estimativa do NDVI no Estado de Minas Gerais utilizando imagens dos satélites CBERS\_2B/CCD e MSG/SEVIRI. 2010. 60f. Dissertação - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2010.

CARVALHO JR., O. A.; COUTO JÚNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T. Avaliação dos classificadores espectrais de mínima distância euclidiana e spectral correlation mapper em séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO), **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 399- 412, 2009. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path%5B%5D=296&path%5B%5D=285>> Acesso em: 26 de mai. de 2016.

CARVALHO JR., O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da floresta estacional decidual na bacia do Rio Paranã a partir da análise multitemporal de



imagens MODIS, **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 3, p. 319-332, 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-261X2006000300002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2006000300002)> Acesso em: 26 de mai. de 2016.

CARVALHO JR., O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JÚNIOR, A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n. 4, p. 505-517, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-261X2008000400010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2008000400010)> Acesso em: 26 de mai. de 2016.

CAVASSANI, A. T. **Floresta Estacional Semidecidual da bacia do médio rio Ivaí – Pr: um estudo da dinâmica de regeneração e do potencial uso das espécies na restauração de ecossistemas**. 2007. 67f. Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba – PR, 219p. 2004. Disponível em: <<http://cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>> Acesso em: 13 de mar. de 2016.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**; 3a Edição revisada, Ediciones Rialp, Madrid, Espanha, 1996.

CHUVIECO, E. **Teledetección ambiental**. Edizioni ariel, Madrid, Espanha, 2002.

CINTRA, D. P. Classificação de estágios sucessionais florestais por meio de imagens de alta resolução (IKONOS) no Parque estadual da Pedra Branca, RJ. 2007. 64f. Dissertação – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2007. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/pgcaf/pdfdt/Dissertacao%20Danielle%20Cintra.pdf>> Acesso em: 12 de fev. de 2016.

CONAMA - **RESOLUÇÃO nº 303, DE 20 DE MARÇO DE 2002**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 22 de nov de 2016.

CONAMA - **RESOLUÇÃO nº 7, de 23 de julho de 1996**. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/202/\\_arquivos/conama\\_res\\_cons\\_1996\\_007\\_estgios\\_sucessionais\\_de\\_vegetao\\_de\\_restringa\\_sp\\_202.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/202/_arquivos/conama_res_cons_1996_007_estgios_sucessionais_de_vegetao_de_restringa_sp_202.pdf)>. Acesso em: 22 de nov. de 2016.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUY, B. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, 2004. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/efb1/801e0e1e7fdf1fde8250343ed728cda238b0.pdf>> Acesso em: 23 de abr. de 2016.

CORREIA, A. H.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V. Avaliação de índices de vegetação MODIS para detecção de desmatamentos na Amazônia, **Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 52-64, 2006.

COSTA, A. G.; SOUSA, I. F.; SANTOS, L. M. V.; COSTA, O. A. **Sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste do Brasil durante a estação de verão**, Fortaleza - CE, 2004.

COSTA, T. A.; GASPAR, R. O.; SOARES, V. P.; SOUZA, A. L.; MARIA, A. C. S.; AMARO, M. A. **Avaliação de estágios sucessionais em um fragmento de mata natural de acordo com a resolução n. 392 do CONAMA e sua correlação com imagem Ikonos CCD**,

Curitiba – PR, p. 2091-2096. 2011. Disponível em:

<<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0382.pdf>> Acesso em: 30 de mar. de 2016.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoramento remoto**. Campinas - SP, 1992.

DALLA NORA, E. L.; SANTOS, J. E. Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação, **Perspectiva**, v. 34, p. 41-51, 2010. Disponível em: <[http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/125\\_73.pdf](http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/125_73.pdf)> Acesso em: 18 de ago. de 2016.

DIDAN, K.; HUETE, A. Modis vegetation index product series. Collection 5 change summary. Arizona, 2006. Disponível em: <[https://landweb.modaps.eosdis.nasa.gov/QA\\_WWW/forPage/MOD13\\_VI\\_C5\\_Changes\\_Document\\_06\\_28\\_06.pdf](https://landweb.modaps.eosdis.nasa.gov/QA_WWW/forPage/MOD13_VI_C5_Changes_Document_06_28_06.pdf)> Acesso em: 14 de nov. de 2016.

DOURADO, W. B. **Avaliação de técnicas de interpolação de imagens digitais**. 2014. 138f. Dissertação – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/115892/000806982.pdf?sequence=1>> Acesso em: 24 de mar. de 2016.

DURÁN, G. Y. B. Estudo da resposta espectral de alvos urbanos com espectroscopia de reflectância e imagens de alta resolução espacial. 2014. 290f. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2014. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/ppggeo/images/dissertacoes/dissertacoes\\_2014/Disserta%C3%A7%C3%A3o3ogloria.pdf](http://w3.ufsm.br/ppggeo/images/dissertacoes/dissertacoes_2014/Disserta%C3%A7%C3%A3o3ogloria.pdf)> Acesso em: 24 de set. de 2016.

EHLERS, R.S. **Análise de Séries Temporais**. 2009. Disponível em: <<http://www.icmc.usp.br/ehlers/stemp/stemp.pdf>>. Acesso em: 13 junho de 2016.

EKLUNDH, L.; JONSSON, P. **Timesat 3.1 software manual**. Suécia. 82 p. 2012.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Banco de Produtos MODIS na base estadual brasileira**. 2016. Disponível em: <<https://www.modis.cnptia.embrapa.br/geonetwork/srv/pt/main.home>> Acesso em: 10 de abr. de 2016.

EPIPHÂNIO, J. C. N.; GLERIANI, J.M.; FORMAGIO, A. R.; RUDORFF, B.F.T. Índices de Vegetação no Sensoriamento Remoto da Cultura do Feijão, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 31, n. 6, p. 445-454. 1996. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.09.04/doc/4503-17825-1-PB.pdf>> Acesso em: 22 de dez. de 2016.

ESPIG, S. A.; SOARES, J. V.; SANTOS, J. R. **Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro**. Curitiba - PR, p. 219-226, 2006. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/11.07.12.16/doc/espig.pdf>> Acesso em: 23 de dez. de 2016.

FARAWAY, J. J. **Practical regression and anova using r**. 2002. Disponível em: <<ftp://cran.r-project.org/pub/R/doc/contrib/Faraway-PRA.pdf>> Acesso em: 12 de jul. de 2016.

FEITOSA, J. R. P.; COSTA FILHO, J. F.; SILVA, B. B. **Avaliação de índices de vegetação em áreas irrigadas do sub-médio São Francisco Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite Landsat TM-5**. Fortaleza – CE, p. 111-113, 2004.



FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W. Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria-RS, por meio de espectrorradiometria de campo. **Revista Geoambiente**, v.13, p.194-207, 2009.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte, **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008. Disponível em:  
<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/5868/5868>> Acesso em: 14 de abr. de 2016.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA), **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 534-550, 2003. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703002116>> Acesso em: 14 de abr. de 2016.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M. **Desmatamentos no bioma Cerrado: uma análise temporal (2001-2005) com base nos dados MODIS - MOD13Q1**. Florianópolis - SC, 2007. Disponível em:  
<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.21/doc/3877-3883.pdf>> Acesso em: 15 de jun. de 2016.

FERREIRA, M. E.; PECCININI, A. A.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. **Análise da sazonalidade de paisagens antrópicas e nativas do bioma Cerrado através dos produtos MODIS índices de vegetação, área foliar e atividade fotossintética**. Goiânia – GO, p. 505-512, 2005. Disponível em:  
<<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.17.41/doc/505.pdf>> Acesso em: 15 de jun. de 2016.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Brasília-DF, 2005. Disponível em:  
<[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)> Acesso em: 21 de fev. de 2016.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso, **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2011. Disponível em: <  
<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47272/51008>> Acesso em: 27 de mar. de 2016.

FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento Remoto para geomorfologia. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. Oficina de textos, 2002.

FONTANA, D.C.; POTGIETER, A.; APAN, A. **Relação entre a precipitação pluvial e índice de vegetação em imagens multitemporais MODIS**. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (CBAGRO). Campinas, Brasil. 2005.

FORTEL, M.; CARVALHAIS, N.; VERBESSELT, J.; MAHECHA, M. D.; NEIGH, C. S. R.; REICHSTEIN, M. Trend change detection in NDVI time series: Effects of inter-annual variability and methodology, **Remote Sensing**, v. 5, n. 5, p. 2113-2144, 2013. Disponível em: <  
<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/5/2113>> Acesso em: 13 de jul. de 2016.

- FORMIGONI, M. H.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S. Análise temporal da vegetação na região do Nordeste através de dados EVI do MODIS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 1-8, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2740/1667>> Acesso em: 13 de ago. de 2016.
- FORSTER, B. C. An examination of some problems and solutions in monitoring urban from satellite platforms, **International Journal of Remote Sensing**, v.6, n. 1, p. 139-151, 1985.
- FRANCO, J. B. S.; ROSA, R. **Metodologia de coleta de dados radiométricos em pastagens do gênero "Brachiaria" com diferentes estágios de degradação**. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, p. 2483-2491, 2003.
- FURTADO, L. F. A.; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Análise de Imagem Baseada em Objeto para Classificação das Fisionomias da Vegetação em Imagens de Alta Resolução Espacial, **Geociências (São Paulo)**, v. 32, n. 3, p. 441-451, 2013. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7291/6735>> Acesso em: 15 de abr. de 2016.
- GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination, **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 609-620, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425700001504>> Acesso em: 17 de ago. de 2016.
- GINCIENE, B. R.; BITENCOURT, M. D. Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual. Curitiba – PR, p. 1620-1627, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0984.pdf>> Acesso em: 30 de ago. de 2016.
- GOLTZ, E.; BRANDÃO, D.; TOMÁS, L. R.; MANTELLI, L. R.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R. Utilização de índices espectrais de vegetação do sensor MODIS na determinação de áreas suscetíveis a alagamento no pantanal sulmatogrossense, **Revista brasileira de cartografia**, v. 59, n. 1, p. 35-44, 2007. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.08.13.28/doc/p80.pdf>> Acesso em: 18 de nov. de 2016.
- GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate, **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 18, p. 3595-3609, 2003.
- HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V. ; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change, **Science**, v. 342, n. 6160, 850-853, 2013. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/342/6160/850>> Acesso em: 21 de mar. de 2016.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- HUETE, A. R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y. E.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season, **Geophysical Research Letters**, v.33, n. L06405, p. 1-4, 2006.



Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GL025583/abstract>> Acesso em: 14 de abr. de 2016.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. **Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**. 1999. Disponível em: <[modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)> Acesso em: 21 de mar. de 2016.

HUETE, A.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS, **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440-451, 1997.

JAKUBAUSKAS, M. E.; PETERSON, D. L.; KASTENS, J. H.; LEGATES, D. R. Time series remote sensing of landscape-vegetation interactions in the Southern Great Plains. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, p. 1021-1030, 2002.

JAMALI, S.; SEAQUIST, J.W.; ARDÖ, J.; EKLUNDH, L. Investigating temporal relationships between rainfall, soil moisture and MODIS-derived NDVI and EVI for six sites in Africa. Sydney, p. 547-553, 2011. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/2011/ISRSE-34/211104015Final00443.pdf>> Acesso em: 06 de set. de 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**, Parêntese, 2a ed., São José dos Campos, 598 p., 2009. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/04.01.14.00/doc/jensen.pdf>> Acesso em: 25 de jan. de 2016.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band, **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3833-3845, 2008.

JORDAN, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, **Ecology**, 50:663-666, 1969.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. Special issue on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): a new generation of land surface monitoring, **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 1-2, 2002. Disponível em: <[http://www.academia.edu/15227849/Special\\_issue\\_on\\_the\\_moderate\\_resolution\\_imaging\\_spectroradiometer\\_MODIS\\_a\\_new\\_generation\\_of\\_land\\_surface\\_monitoring](http://www.academia.edu/15227849/Special_issue_on_the_moderate_resolution_imaging_spectroradiometer_MODIS_a_new_generation_of_land_surface_monitoring)> Acesso em: 30 de abr. de 2016.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R.G.; VERMONTE, E. F.; MASUOKA, E; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 3-15, 2002

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

JUSTICE, C.O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products, **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.244-262, 2002.

KUPLICH, T. M., MOREIRA, A., & FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17, 1116-1123, 2013.

LATORRE, M. F. **Utilização de um método de correção atmosférica para o processamento de dados hiperespectrais do sensor AVIRIS em regiões tropicais**. 1998. 176f. Dissertação - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998

LATORRE, M. L. ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Sensor MODIS: características gerais e aplicações, **Espaço e Geografia**, v. 6, n. 1, p. 91-121, 2003. Disponível em: <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/11077/1/ARTIGO\\_SensorModisCaracteristicas.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/11077/1/ARTIGO_SensorModisCaracteristicas.pdf)> Acesso em: 23 de mar. de 2016.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M.; TABARELLI, M.; LACHER JR.; T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil, **Megadiversidade**, v.1, n. 1, p.139-146, 2005. Disponível em: <[https://portais.ufg.br/up/160/o/19\\_Leal\\_et\\_al.pdf](https://portais.ufg.br/up/160/o/19_Leal_et_al.pdf)> Acesso em: 12 de nov. de 2016.

LEE, R.; YU, F.; PRICE, K. P.; ELLIS, J.; SHI, P. Evaluating vegetation phenological patterns in inner Mongolia using NDVI time series analysis, **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 12, p. 2505-2512, 2002. Disponível em: <<http://www.espre.cn/spj/fujian/Evaluating%20Vegetation%20Phenological%20Patterns%20in%20Inner%20Mongolia%20Using%20NDVI%20time-series%20Analysis.pdf>> Acesso em: 13 de set. de 2016.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA1, **Revista Árvore**, v.31, n. 2, p.295-305, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622007000200012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622007000200012)> Acesso em: 30 de jun. de 2016.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5 ed. Nova Iorque. John Wiley & Sons, 2004.

LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Ed. UNIDERP, Campo Grande, 881p, 2007.

LIU, W.T.H. Aplicações de sensoriamento remoto. Ed.UNIDERP, Campo Grande, 908 p., 2006.

LUCENA, L. R. R.; STOSIC, T.; MOACYR, C. F. Avaliação da precipitação diária do estado de Sergipe utilizando análise de lacunaridade, **Revista brasileira de biometria**, v. 33, p. 104-117, 2015. Disponível em: <[http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v33/v33\\_n2/A10\\_Leandro\\_Tatijan\\_Moacyr.pdf](http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v33/v33_n2/A10_Leandro_Tatijan_Moacyr.pdf)> Acesso em: 21 de mar. de 2016.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de**



**perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado.** Brasília - DF, 23 p., 2004. Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/relatorio\\_tecnico\\_monitoramento\\_desmate\\_bioma\\_cerrado\\_csr\\_rev\\_72\\_72.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatorio_tecnico_monitoramento_desmate_bioma_cerrado_csr_rev_72_72.pdf)> Acesso em: 12 de abr. de 2016.

MARINO JUNIOR, E. O uso do Sensoriamento Remoto orbital na pesquisa socioeconômica, **Revista Científica Eletrônica De Agronomia**, v. 5, n. 10, p. 9, 2006. Disponível em:  
<[http://www.faeF.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/UjEV2Nh8IKyLxoI\\_2013-5-1-12-2-45.pdf](http://www.faeF.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/UjEV2Nh8IKyLxoI_2013-5-1-12-2-45.pdf)> Acesso em: 28 de abr. de 2016.

MARTINS, R. P. Renderização em tempo real utilizando mapas de iluminação em alta precisão. 2006. 99f. Dissertação - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MAUS, V. **Satellite time series analysis for land use/cover change detection.** IIASA Interim Report. IIASA, Laxenburg, Austria: IR-14-017, 2014. Disponível em:  
<<http://pure.iiasa.ac.at/11251/>> Acesso em: 25 de mar. de 2016.

MELESSE, A. M.; WENG, Q.; THENKABAIL, P. S.; SENAY, G. B. Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling, **Sensors**, v. 7, n. 12, p. 3209-3241, 2007. Disponível em:  
<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3841891/>> Acesso em: 30 de ago. de 2016.

MELO, D. H. C. T. B. **Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo.** São José dos Campos, 146p., 2002. - (INPE-9865-TDI/870). Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Melo-D-H-C-T-B-2002/publicacao.pdf>> Acesso em: 17 de fev. de 2016.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T. D., ROSA, A. N. D. C. S., SANO, E. E., SOUZA, E. B. D., BAPTISTA, G. M. D. M., & BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília, 2012.

MENESES, PAULO R. **I Curso de Geoprocessamento Ambiental.** 2011.

MICHA, D. N.; PENELLO, G.; KAWABATA, R.; CAMAROTTI, T.; TORELLY, G.; SOUZA, P. L. . Enxergando no escuro: a física do invisível. **A Física na Escola (Online)** , v. 12, p. 19-23, 2011.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto.** São José dos Campos, 2002. Disponível em: <[http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1\\_ECMoraes.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf)> Acesso em: 16 de fev. de 2016.

MORAIN, S.A. A Brief History of Remote Sensing Applications, with Emphasis on Landsat. **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science.**, Washington, D.C., p. 70-93, 1998. Disponível em: <<https://www.nap.edu/read/5963/chapter/3>> Acesso em: 14 de set. de 2016.

MORAIS, L. B. **Banco de dados pluviométricos integrados por dados da plataforma trmm e estações pluviométricas nos estados de Goiás e Distrito Federal.** Dissertação – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em:  
<<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/4775/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20->

%20Lidiane%20Batista%20de%20Morais%20-%202014.pdf> Acesso em: 24 de jun. de 2016.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 3ª. ed., Editora UFV, Viçosa - MG, 2005.

Moreira, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 3ª. ed. Viçosa, Editora UFV, Viçosa - MG, 320 p. 2007.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 2000. 181f. Dissertação - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 2000. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Moreira-R-C-2000/Dissertacao.pdf>> Acesso em: 12 de ago. de 2016.

NASA(a). **Nasa's Earth Observing System**. Disponível em: <<https://eosps.nasa.gov/>> Acesso em: 03 de mar. de 2016.

NASA(b). MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Disponível em: <<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>> Acesso em: 03 de mar. de 2016.

NEZLIN, N.P.; KOSTIANOV, A.G.; LI, B. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral sea region, **Journal of Arid Environments**, v. 62, n. 4, p. 677-700, 2005.

NOGUEIRA JR. **Estrutura e composição de uma vegetação ripária, relações dendrocronológicas e climáticas na Serra dos Macacos em Tobias Barreto, Sergipe - Brasil**. 2011. 173f. Dissertação - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. v. 01. 363p .

NUNES, G. M.; SOUZA FILHO, C. R.; FERREIRA, L. G. **Monitoramento da cobertura vegetal em áreas de reservas de desenvolvimento sustentável na Amazônia central através de índices de vegetação do sensor MODIS**. Florianópolis – SC, p. 6893-6899, 2007. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.09.34/doc/6893-6899.pdf>> Acesso em: 27 de nov. de 2016.

OLIVEIRA, T. C. **Variação temporal dos índices de vegetação da soja e cana-de-açúcar e obtenção do coeficiente de cultura (kc) a partir do NDVI**. 2014. 145f. Dissertação – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4946/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Varia%C3%A7%C3%A3o%20temporal%20dos%C3%ADndices%20de%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20da%20soja%20e%20cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar%20e%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20coeficiente%20de%20cultura%20\(KC\)%20a%20partir%20do%20NDVI.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4946/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Varia%C3%A7%C3%A3o%20temporal%20dos%C3%ADndices%20de%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20da%20soja%20e%20cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar%20e%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20coeficiente%20de%20cultura%20(KC)%20a%20partir%20do%20NDVI.pdf)> Acesso em: 21 de ago. de 2016.

PAIVA, Y. G.; XAVIER, A.; ALMEIDA, A. Q.; FABIO, C.; ARISTIDES, R. Séries temporais do Enhanced Vegetation Index e caracterização do uso do solo no Espírito Santo, **Acta Geográfica**, v. 4, p. 25, 2010. Disponível em: <<http://revista.ufr.br/actageo/article/view/286/459>> Acesso em: 10 de abr. de 2016.



PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA) através de dados orbitais, **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n.4, p. 535-545, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n4/22602.pdf> Acesso em: 20 de fev. de 2016.

PONZONI, F. J.; RODRIGUES, A. G.; MALDONADO, F. D.; HIROMI, S. S. Y.; NUMATA, I.; ARAÚJO L. S. Comparação entre o fator de reflectância bidirecional de um dossel de mudas de *Eucalyptus grandis* e o fator de reflectância direcional hemisférico de suas folhas isoladas, **Cerne**, v.8, n.1, p.059-068, 2002. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74408106> Acesso em: 20 de fev. de 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos campos - SP, 160 p., 2007.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São José dos Campos – SP, Oficina de Textos.176 p., 2012.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, Ed. Parêntese, 130p. 2009.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. Recife – PE, Ed.Univ. da UFPE, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/252321916\\_As\\_caatingas\\_da\\_America\\_do\\_Sul](https://www.researchgate.net/publication/252321916_As_caatingas_da_America_do_Sul) Acesso em: 28 de ago. de 2016.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria, 2016.

REED, B. C.; BROWN, J. F.; VANDERZEE, D.; LOVELAND, T. R.; MERCHANT, J. W.; OHLEN, D. O. Measuring phenological variability from satellite imagery. **Journal of Vegetation Science**, v. 5, p. 703-714, 1994.

REED, B. C.; LOVELAND, T. R.; TIESZEN, L. L. An aproach for using AVHRR data to monitor U.S. Great Plains grasslands. **Geocarto International**, v. 11, n. 3, p. 13-22, 1996.

REIS, N.T.O. **GUIA DIDATICO: Fundamentos de Mecanica Orbital II**. Tema: Educacao e Espaco, 2011. Disponível em: <https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2011/08/mecc3a2nica-orbital-parte-2.pdf> Acesso em: 09 de set. de 2016.

RIBEIRO, C. A. D.; CHRISTOVÃO, C. P. ; XAVIER, A. C. **Análise da correlação entre valores de EVI em área de pastagem e variáveis climáticas - a importância do fator tempo**. Natal – RN, v. 1. p. 2959-2965, 2009. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.11.37/doc/2959-2965.pdf> Acesso em: 17 de abr. de 2016.

RIBEIRO, C. A. D.; PAIVA, Y. G.; FERREIRA, D. S.; XAVIER, A. C. **Banco de dados temporal de imagens NDVI do sensor MODIS para o Espírito Santo**. Florianópolis – SC, p. 6075-6081, 2007. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.23.52/doc/6075-6081.pdf> Acesso em: 14 de set. de 2016.

RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, p. 1541-1552, 1977.

RISSO, J.; RIZZI, R.; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y.; FERNANDES, S. L. **Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja**. Natal – RN, p. 379 – 386, 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.07/doc/379-386.pdf>> Acesso em: 20 de nov. de 2016.

ROSENDO, J. S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari-MG-utilizando dados do sensor Modis**. 2005. 131f. Dissertação - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf>> Acesso em: 12 de jul. de 2016.

RUDORFF, F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Orgs.). **O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. Parêntese, São José dos Campos, 2007.

SANTOS, C. A. C. D.; BRITO, J. I. B. D. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN, **Revista brasileira de meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n3/03.pdf>> Acesso em: 21 de jul. de 2016.

SCAFF, L. A. M. **Física da radioterapia**. 1997.

SELLERS, P. J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration, **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 8, p.1335 -1372, 1985.

SERGIPE. Secretaria de estado de meio ambiente e dos recursos hídricos – Superintendência de Recursos Hídricos. **Sergipe: Atlas Digital Sobre Recursos Hídricos**. Cd-rom, 2012.

SHIMABUKURO, Y E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 399-409, 2009. Disponível em: <[http://www.ceres.ufv.br/CERES/revistas/V56N004\\_00409.pdf](http://www.ceres.ufv.br/CERES/revistas/V56N004_00409.pdf)>. Acesso em: maio de 2016.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias**. 2004, 146 f. Dissertação – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS DE SERGIPE - SIRHSE. **Clima**. 2016. Disponível em: <[http://sirhse.semarrh.se.gov.br/sirhse/index.php/macropplanejamento/bacias\\_hidrograficas/estadoClima/estado](http://sirhse.semarrh.se.gov.br/sirhse/index.php/macropplanejamento/bacias_hidrograficas/estadoClima/estado)>. Acesso em: 15 de agosto de 2016.

SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. **O Sensor Modis e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. Parêntese, São José dos Campos, 2007.



SOUSA JUNIOR, M. A.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Monitoramento de estiagem na Região Sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009**. São José dos Campos, 134 p., 2010. Disponível em: . Acesso em: 30 jun. 2010. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0795.pdf>> Acesso em: 13 de jun. de 2016.

STEFFEN, C. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos, SP: INPE, 2002 (Apostila).

STEPHAN, C. **Automating Near Real-Time Deforestation Monitoring With Satellite Image Time Series**. 2015. 110f. Dissertação – University of Muenster, Münster, 2015. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/msc\\_thesis\\_christopher\\_stephan.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/msc_thesis_christopher_stephan.pdf)> Acesso em: 15 de abr. de 2016.

STRAHLER, A.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIN, E.; MOODY, A. **MODIS land cover and land-cover change products algorithm theoretical basis document (ATBD)**. Version 5.0, Center for Remote Sensing, 72p., 1999. Disponível em: <[https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod12.pdf](https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf)> Acesso em: 13 de mar. de 2016.

STRAHLER, A.; TOWNSHEND, J.R.G.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; HYMAN, A.; MOODY, A.; LAMBIN, E. **MODIS land cover product algorithm theoretical basis document (ATBD)**. Version 4.1. 102 p., 1996.

TADESSE, T.; BROWN, J.; HAYES, M. A new approach for predicting drought-related vegetation stress: integrating satellite, climate, and biophysical data over the U.S. central plains. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 59, n. 4, p. 244-253, 2005.

TEIXEIRA, R. F. B. Índice de vegetação IVDN a partir do NOAA e do Terascan na Funceme. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 12-18, 2003.

TIAN, F.; BRANDT, M.; LIU, Y. Y.; VERGER, A.; TAGESSON, T.; DIOUF, RASMUSSEN, K.; MBOW C.; WANG Y.; FENSHOLT, R. Remote sensing of vegetation dynamics in drylands: Evaluating vegetation optical depth (VOD) using AVHRR NDVI and in situ green biomass data over West African Sahel. **Remote Sensing of Environment**, v. 177, p. 265-276, 2016.

TUCKER, C.J.; SELLERS, P.J. Satellite remote sensing of primary production, **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1395-1416, 1986.

VAN LEEUWEN, W.J.D.; HUETE, A.R.; LAING, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, v. 69, p.264-280, 1999.

VIALI, L. **Estatística Básica: Séries temporais**. 2002 (Material Didático) .

VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R. G.; PAZ, A. R. Série temporal de imagens EVI/MODIS para discriminação de formações vegetais do pantanal, **Geografia** (Rio Claro. Impresso), v. 34, p. 721-729, 2009. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/publicacoes/2geo/Cap-8.pdf>> Acesso em: 23 de jun. de 2016.



VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. **Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster**. Curitiba - PR, p.1828, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1364.pdf>> Acesso em: 24 de set. de 2016.

WANG, Q.; TENHUNEN, J.; DINH, N.Q.; REICHSTEIN, M.; VESALA, T.; KERONEN, P. Similarities in ground- and satellite-based NDVI time series and their relationship to physiological activity of a Scots pine forest in Finland, **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 1–2, p. 225-237, 2004.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L.; KASTENS, J. H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the US Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n.3, p. 290-310, 2007.

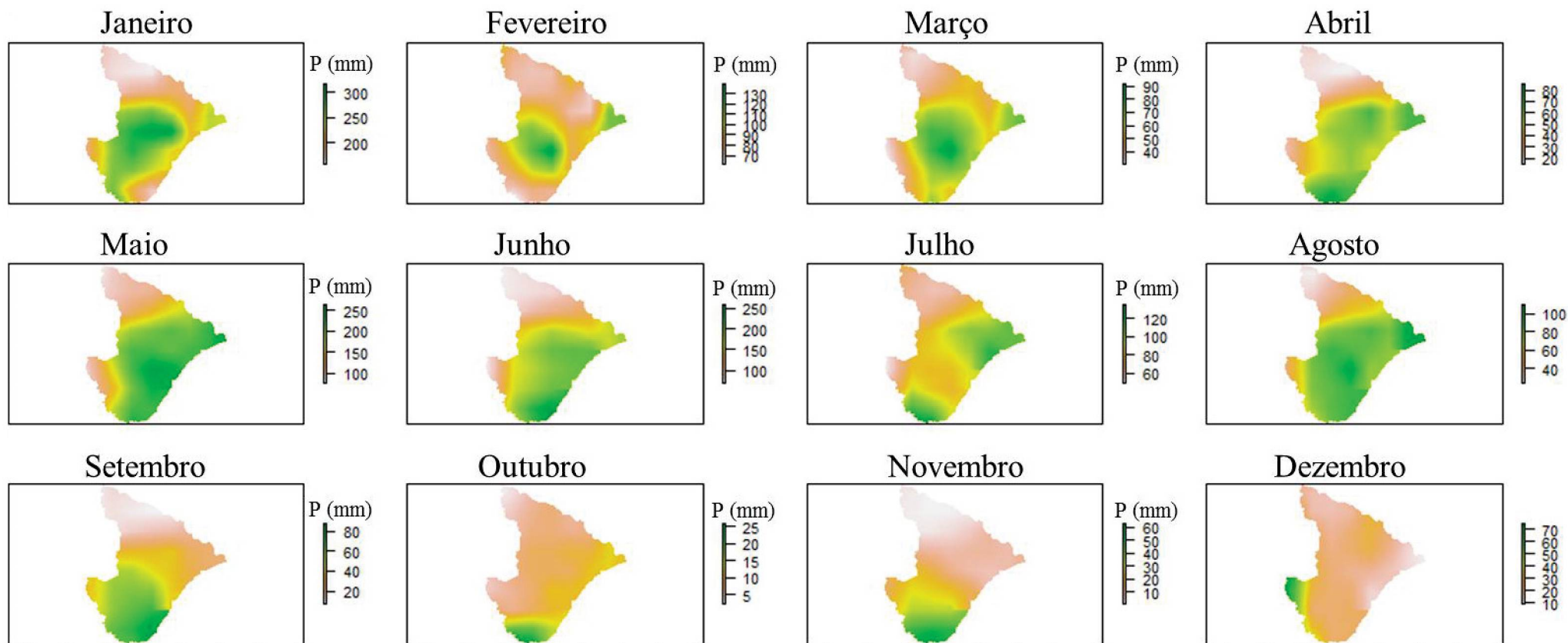
XAVIER, A. C.; KING, C. W., SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013), **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2015.

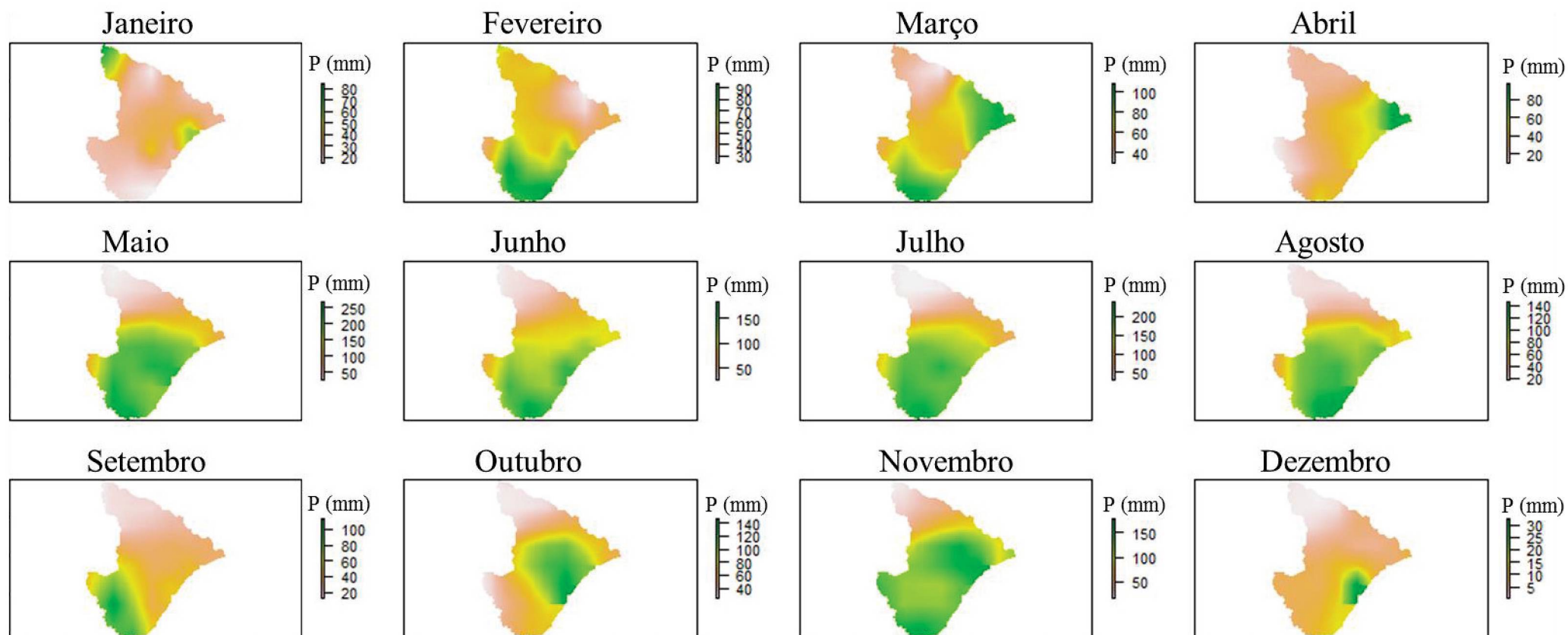
YANG, L.; WYLIE, B. K.; TIESZEN, L. L.; REED, B. C. An analysis of relationships among climate forcing and time integrated NDVI of grasslands over the U.S. northern and central Great Plains, **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n.1, p. 25-37, 1998.

ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS, **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471-475, 2003.

ZULLO JR, J. **Geociências e Ambiente (Geoprocessamento) - Movimento orbital**. (Material de aula). 2014. Disponível em:

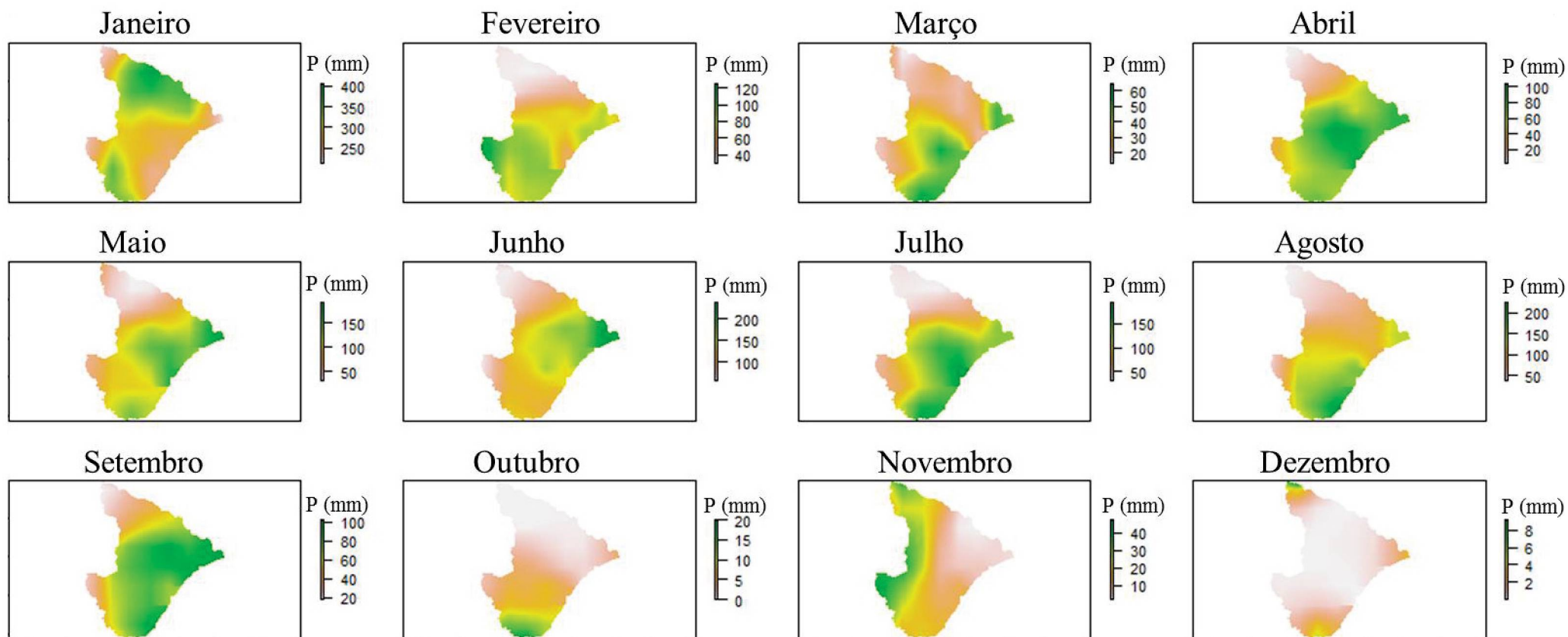
<[http://www.cpa.unicamp.br/as029/AS029\\_Tema8\\_2014.pdf](http://www.cpa.unicamp.br/as029/AS029_Tema8_2014.pdf)>. Acesso em: 17 de agosto de 2016.

**APÊNDICE A – SÉRIE DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2002**

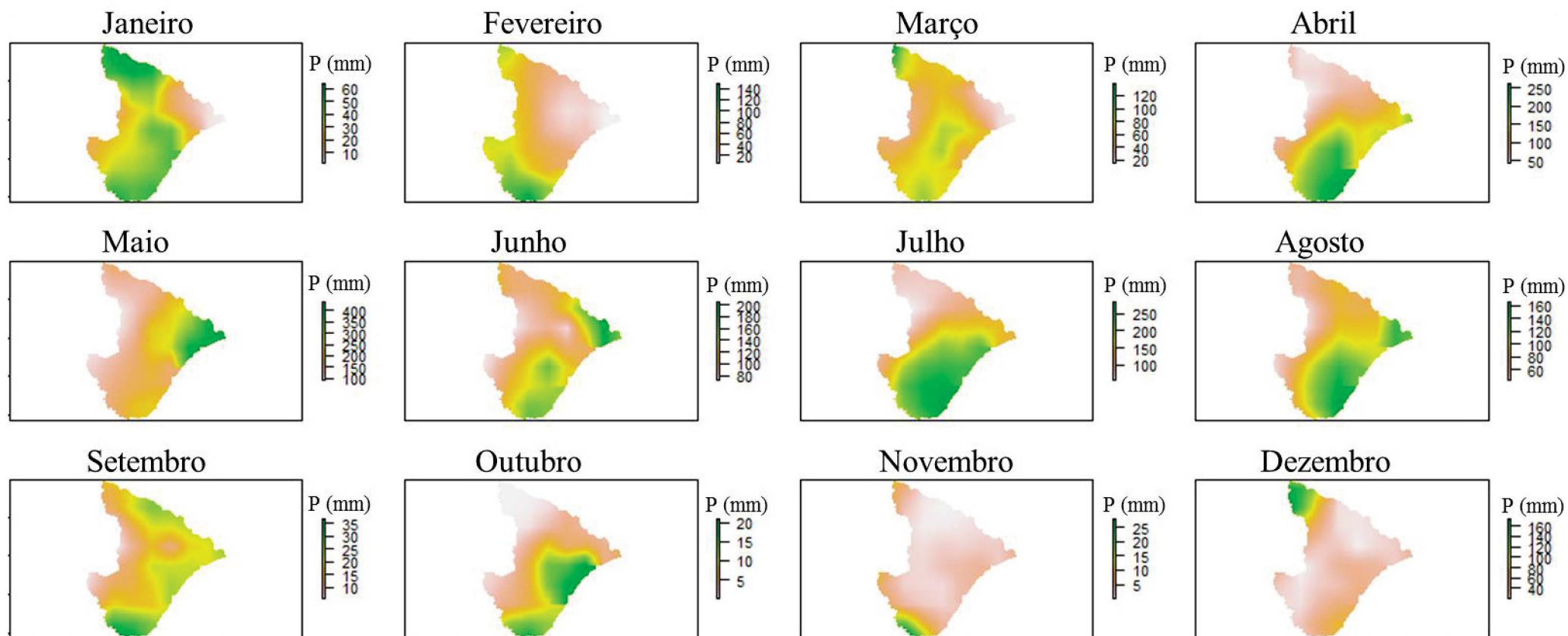
**APÊNDICE B – SÉRIE DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2003**



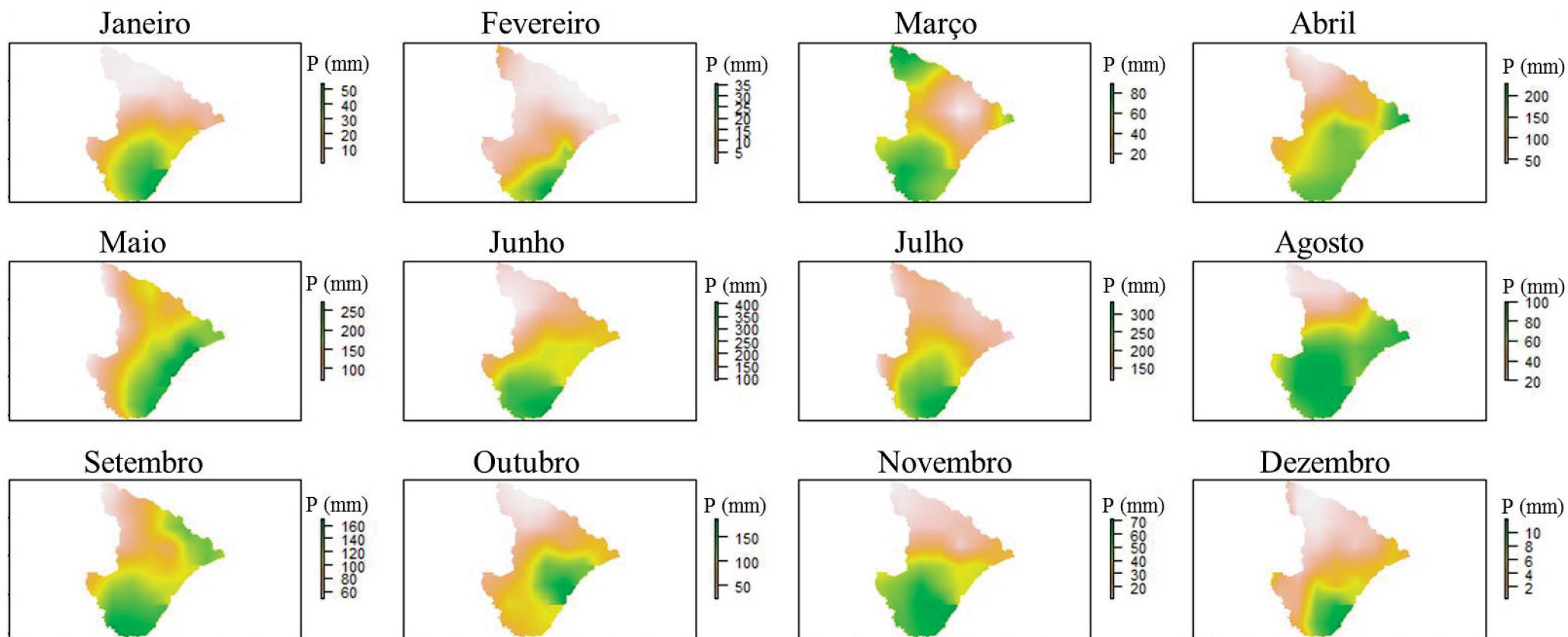
## APÊNDICE C – SÉRIE TEMPORAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2004



## APÊNDICE D – SÉRIE TEMPORAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2005

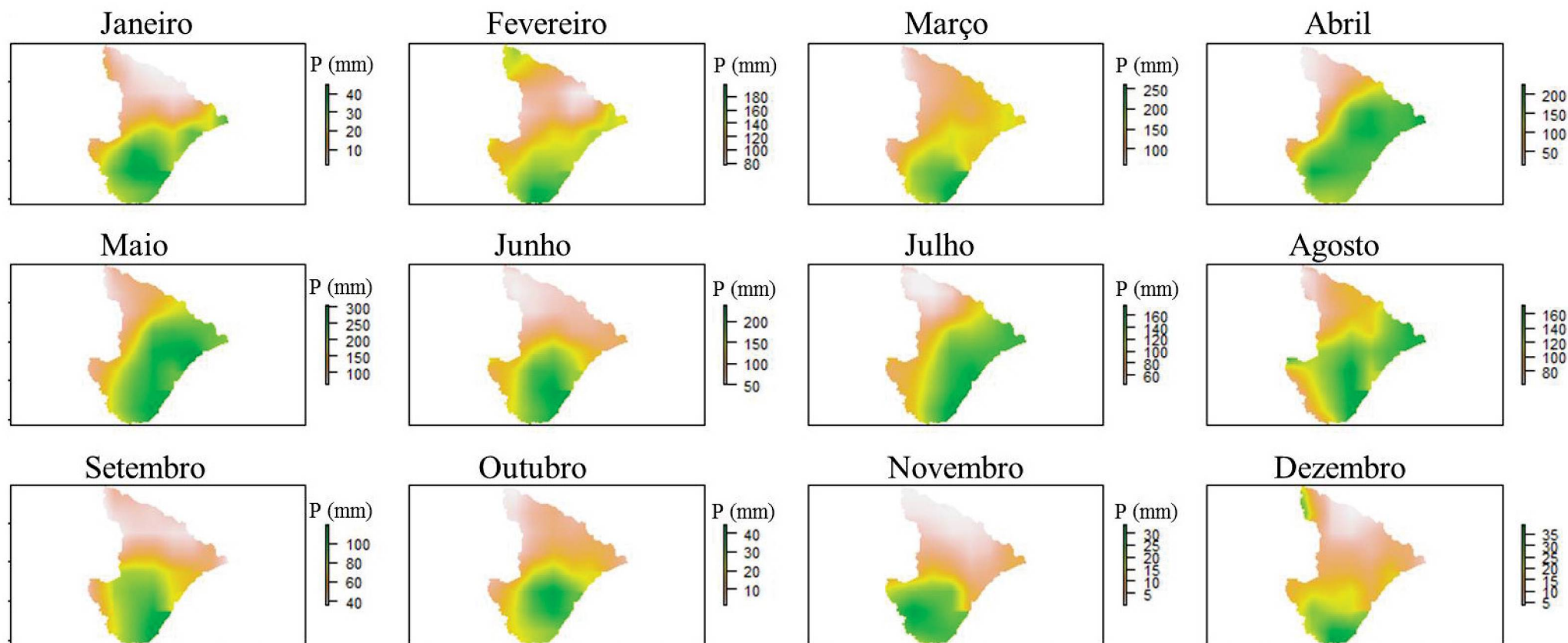


## APÊNDICE E – SÉRIE TEMPORAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2006

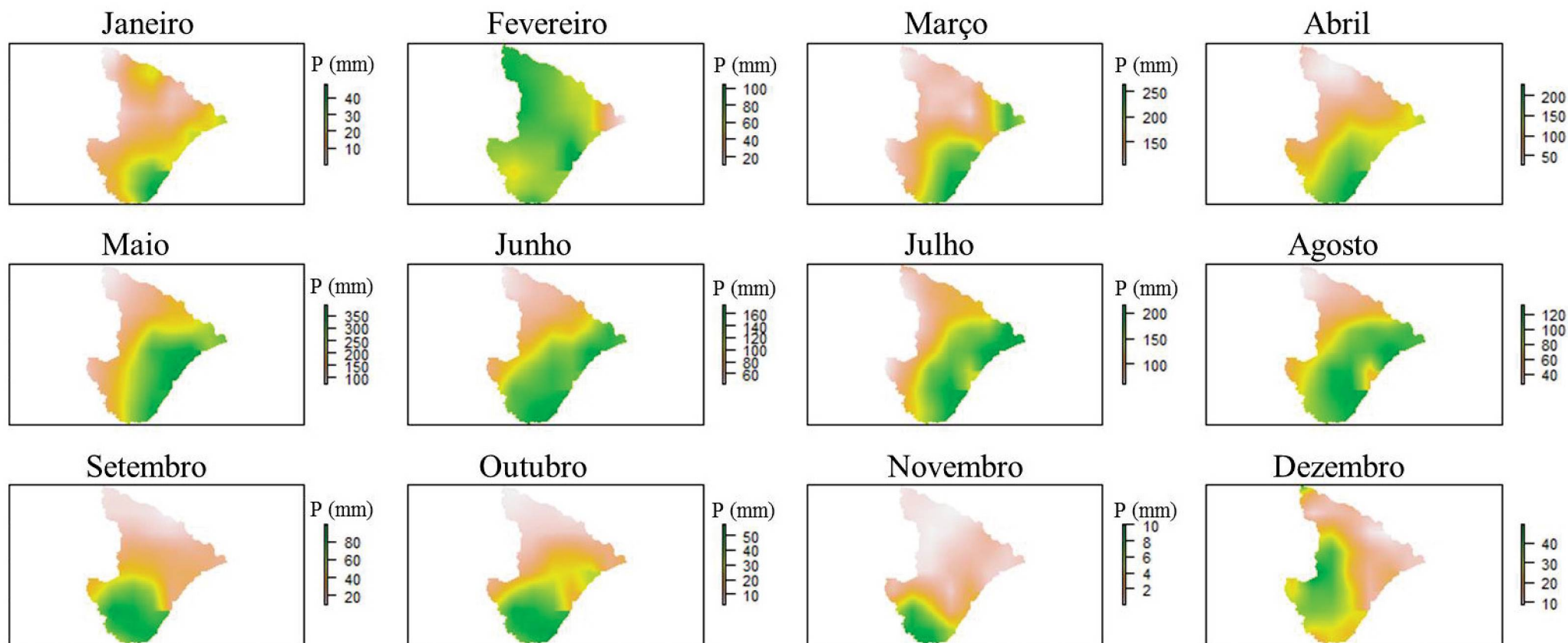




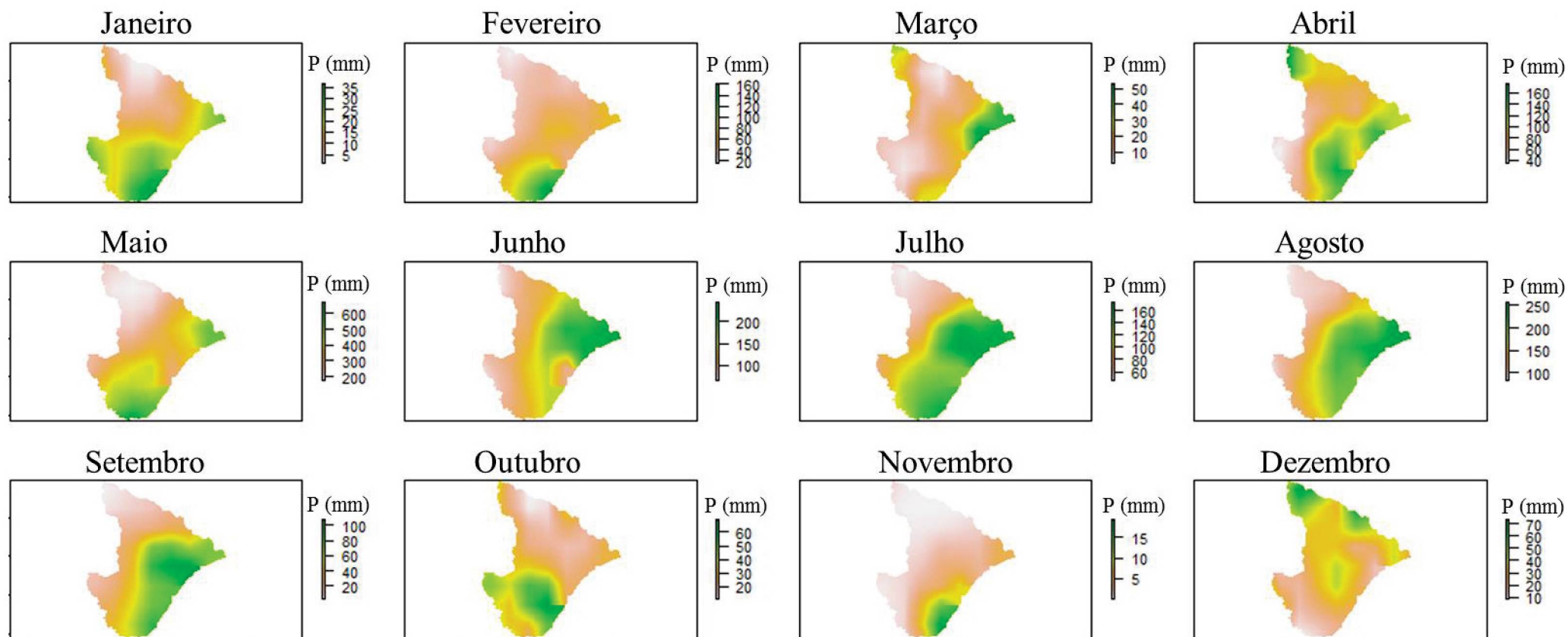
## APÊNDICE F – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2007



## APÊNDICE G – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2008

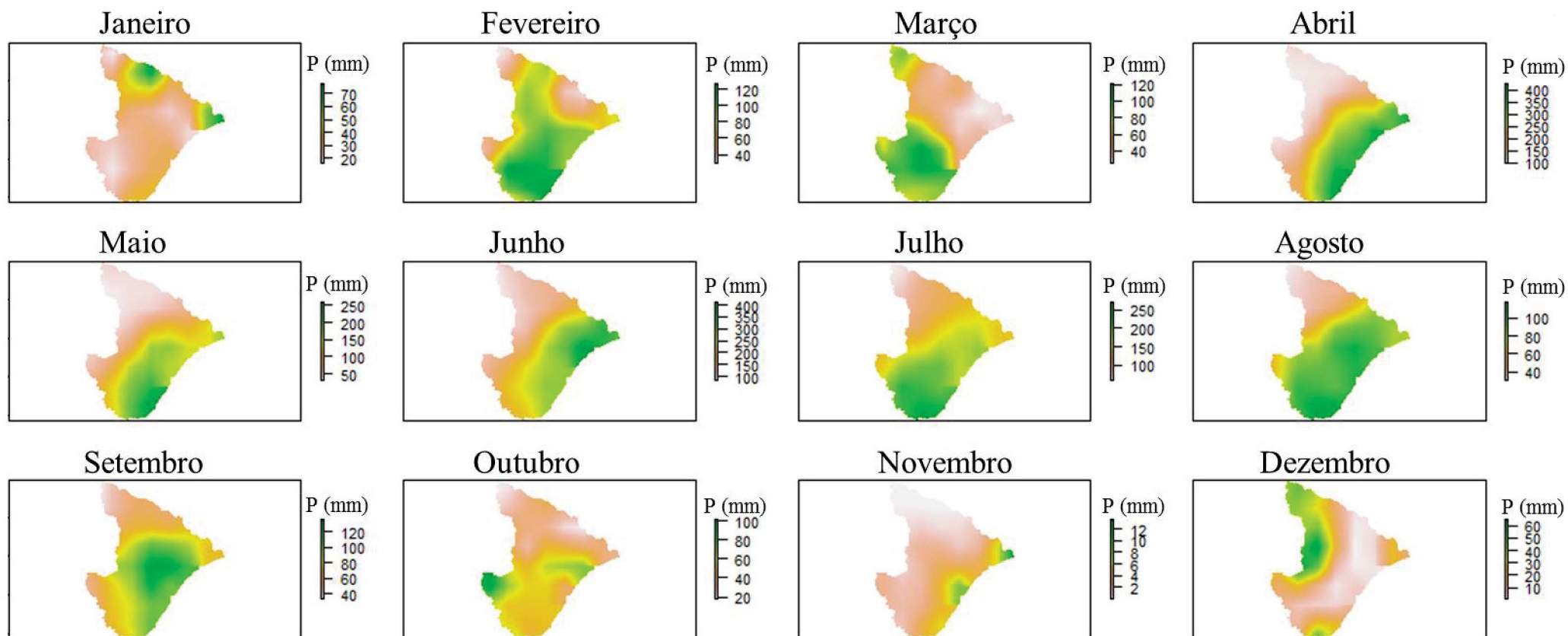


## APÊNDICE H– SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2009

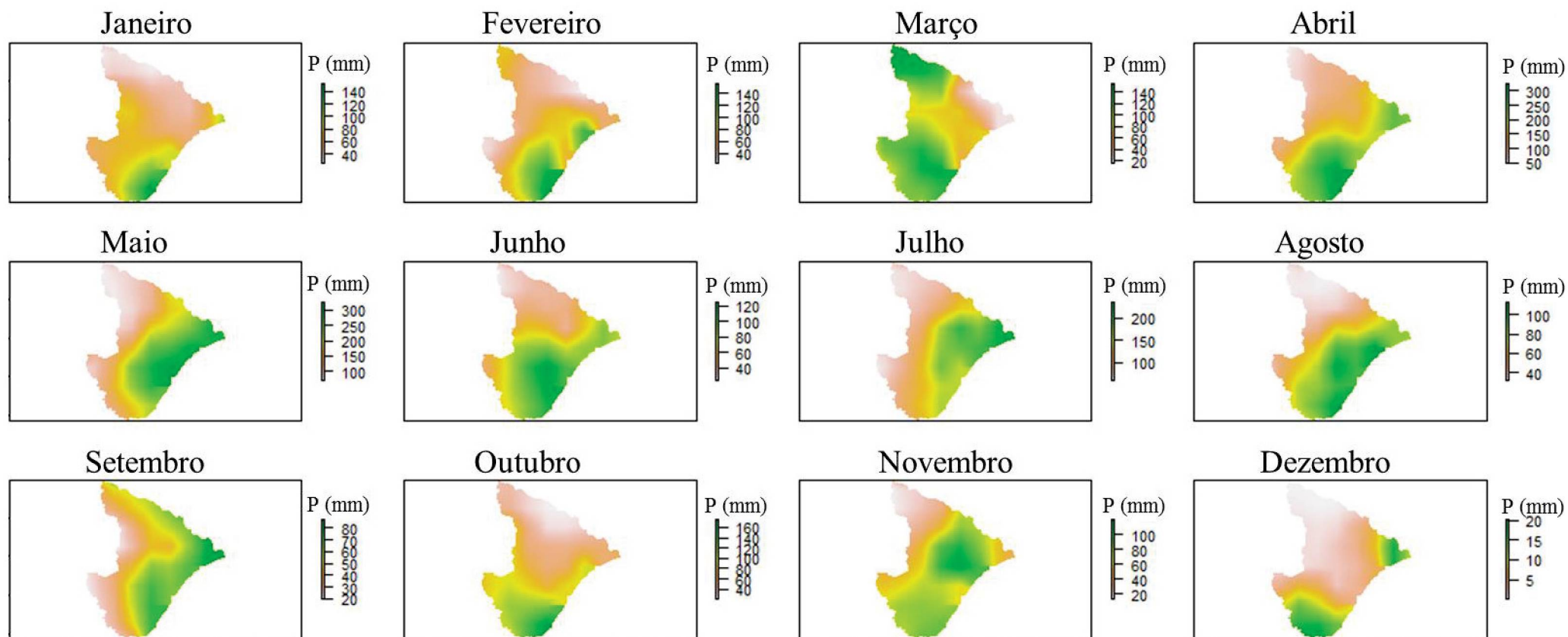




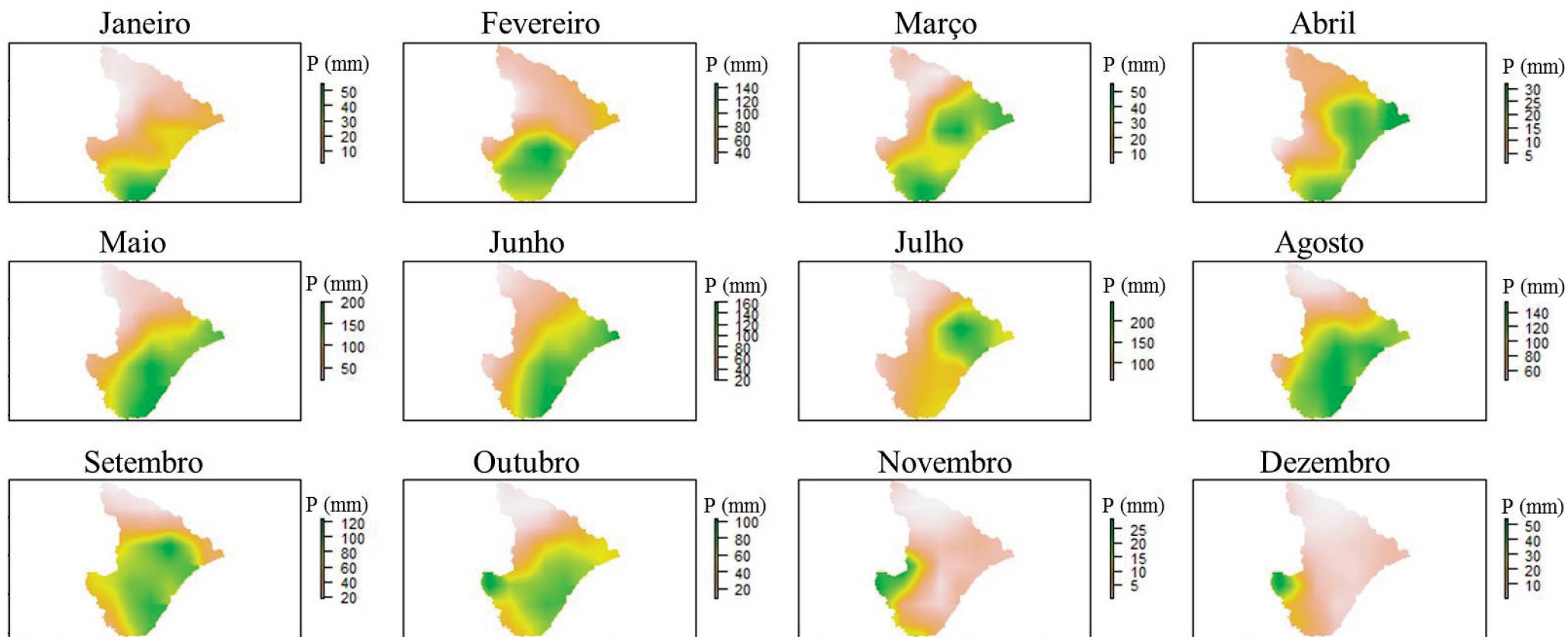
## APÊNDICE I – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2010



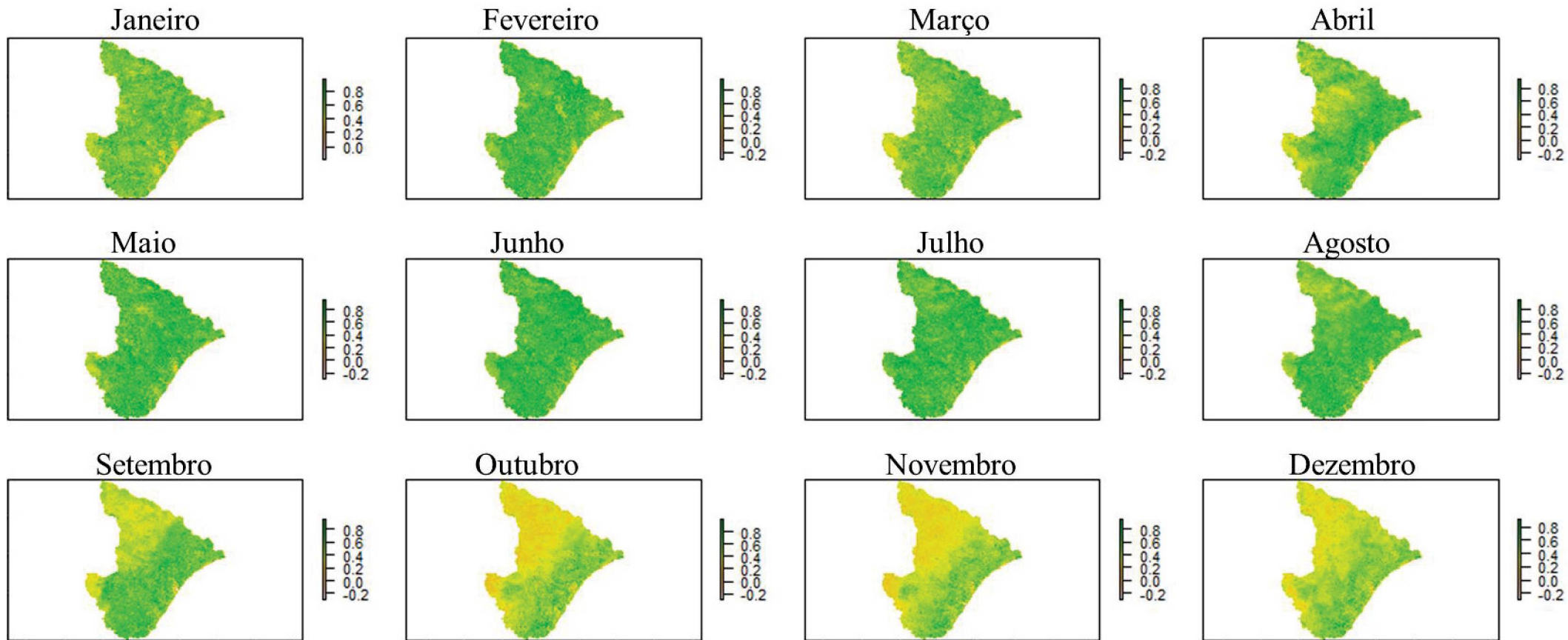
## APÊNDICE J – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2011



## APÊNDICE K – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM SERGIPE, NO ANO DE 2012

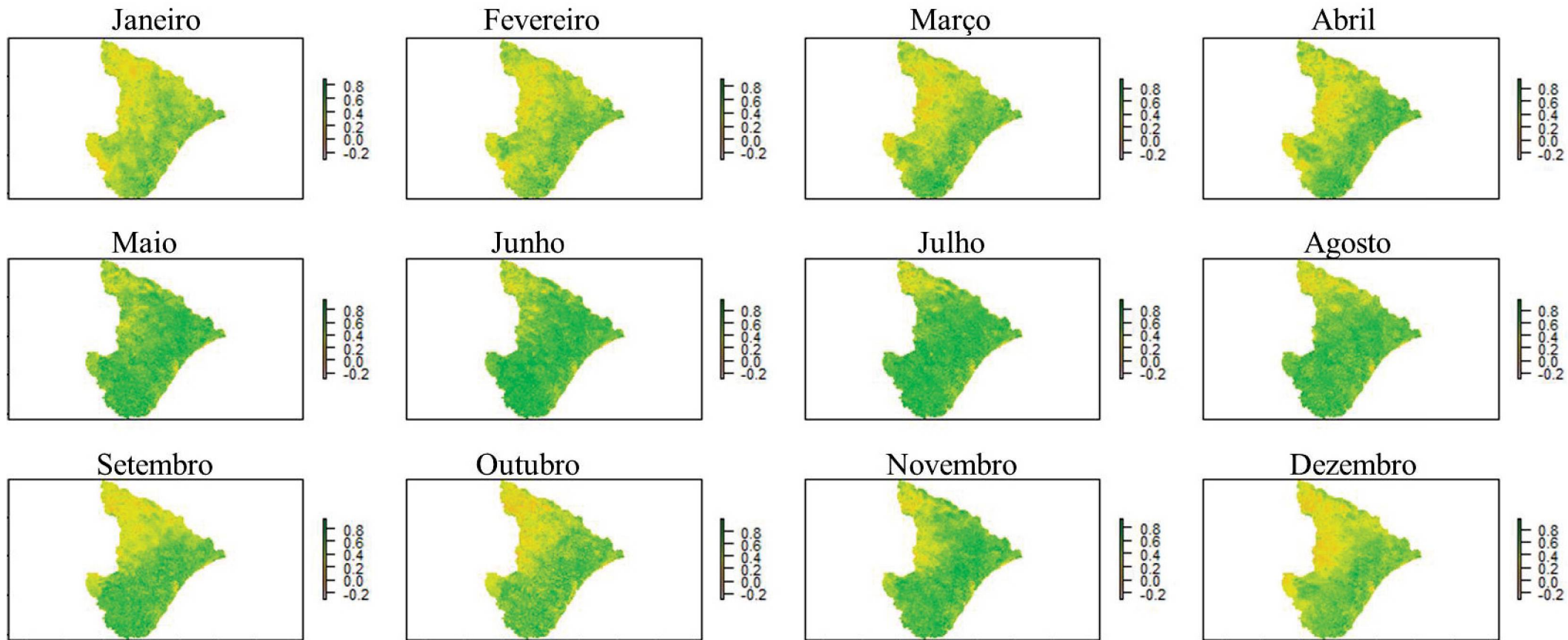


## APÊNDICE L – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2002

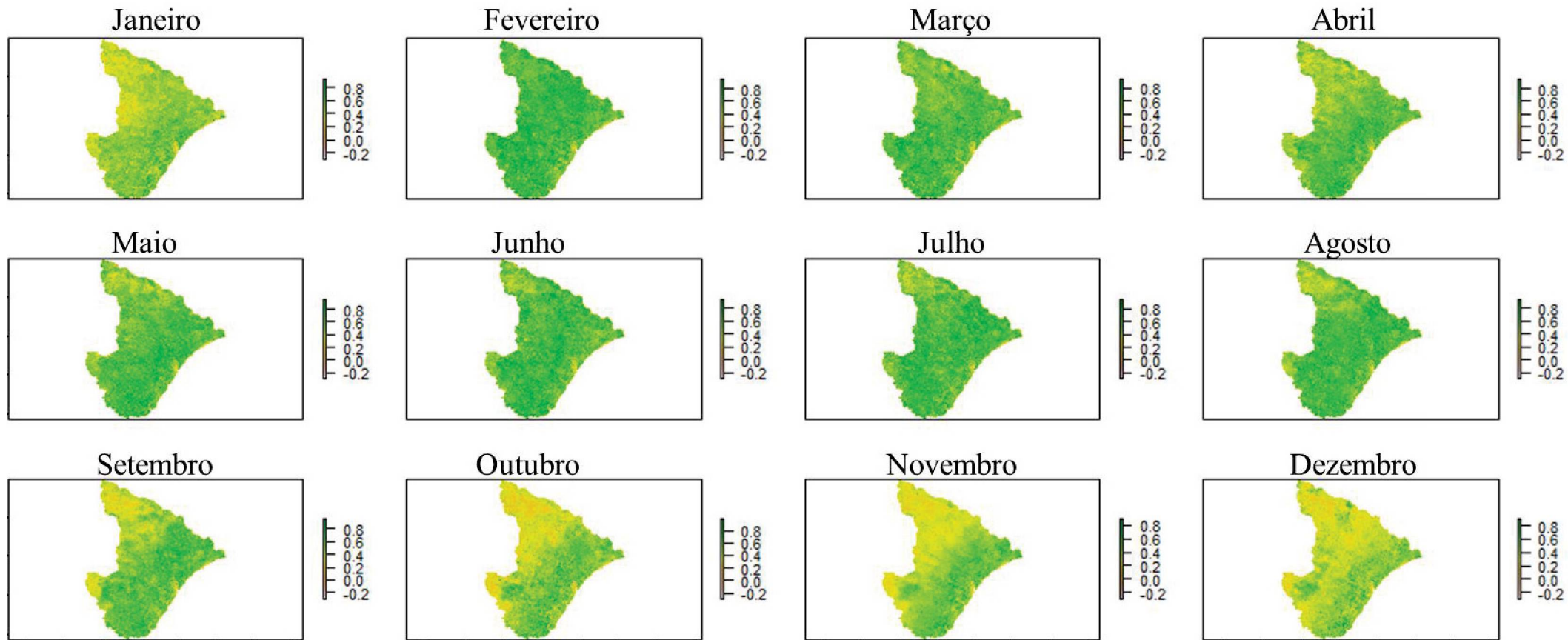




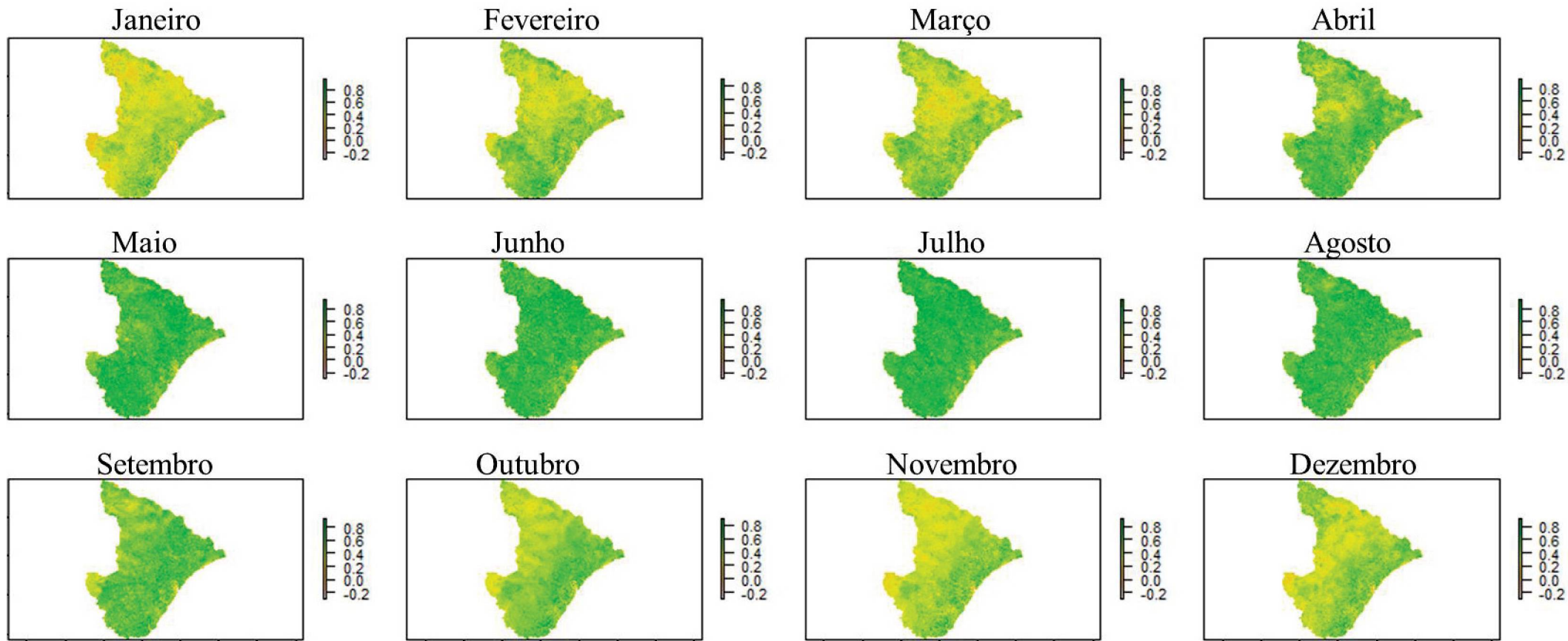
## APÊNDICE M – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2003



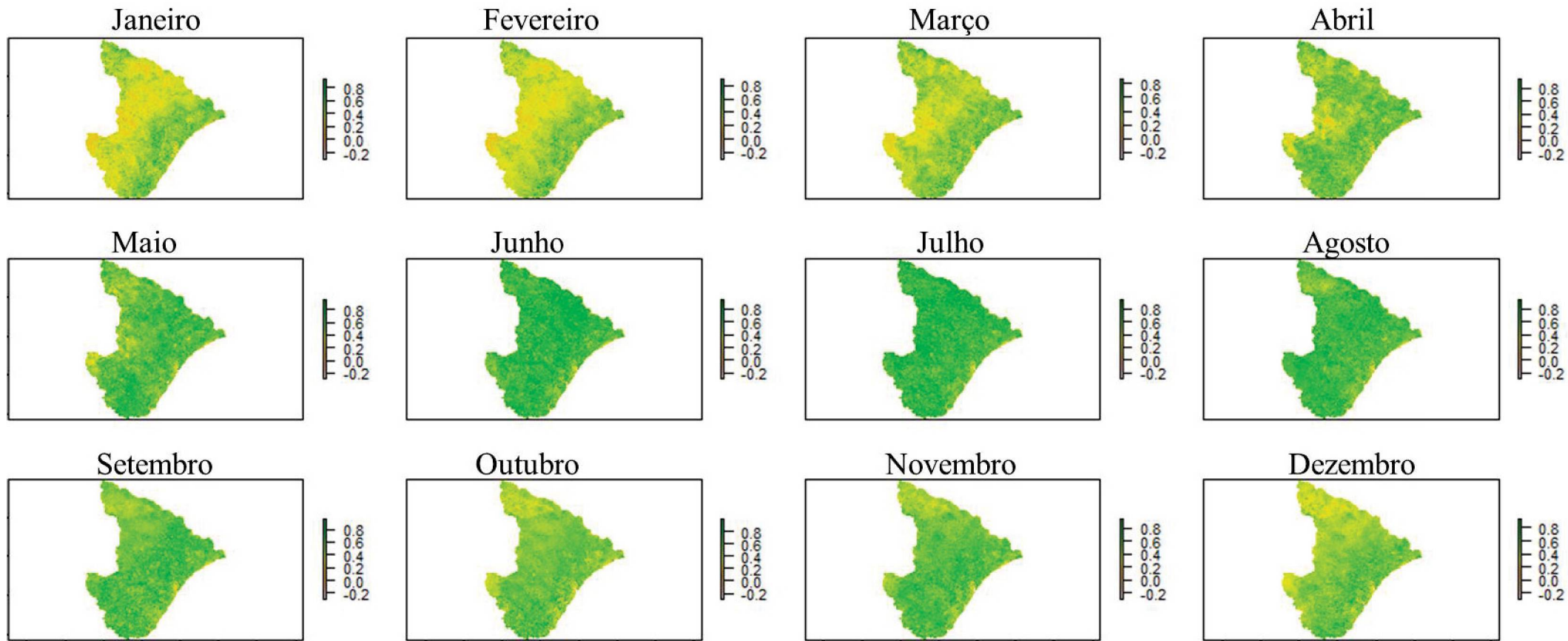
## APÊNDICE N – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2004



## APÊNDICE O – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2005

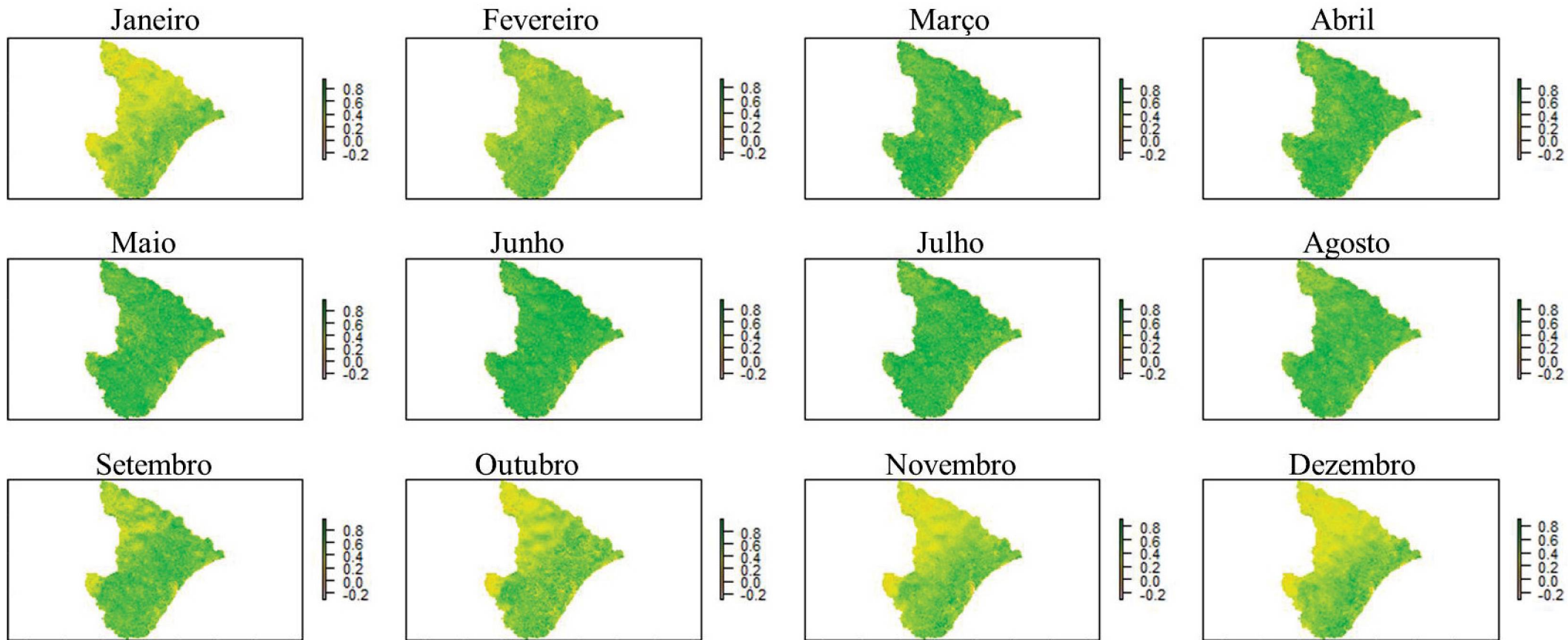


## APÊNDICE P – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2006

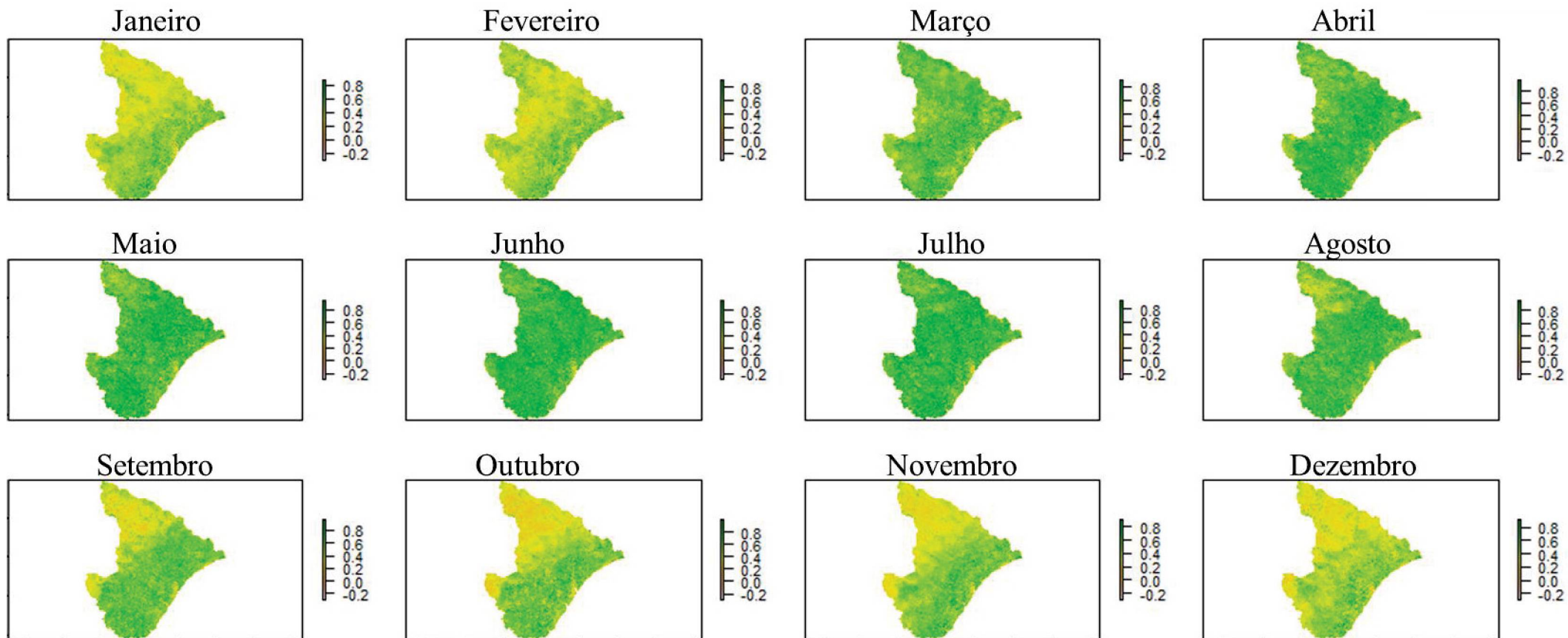




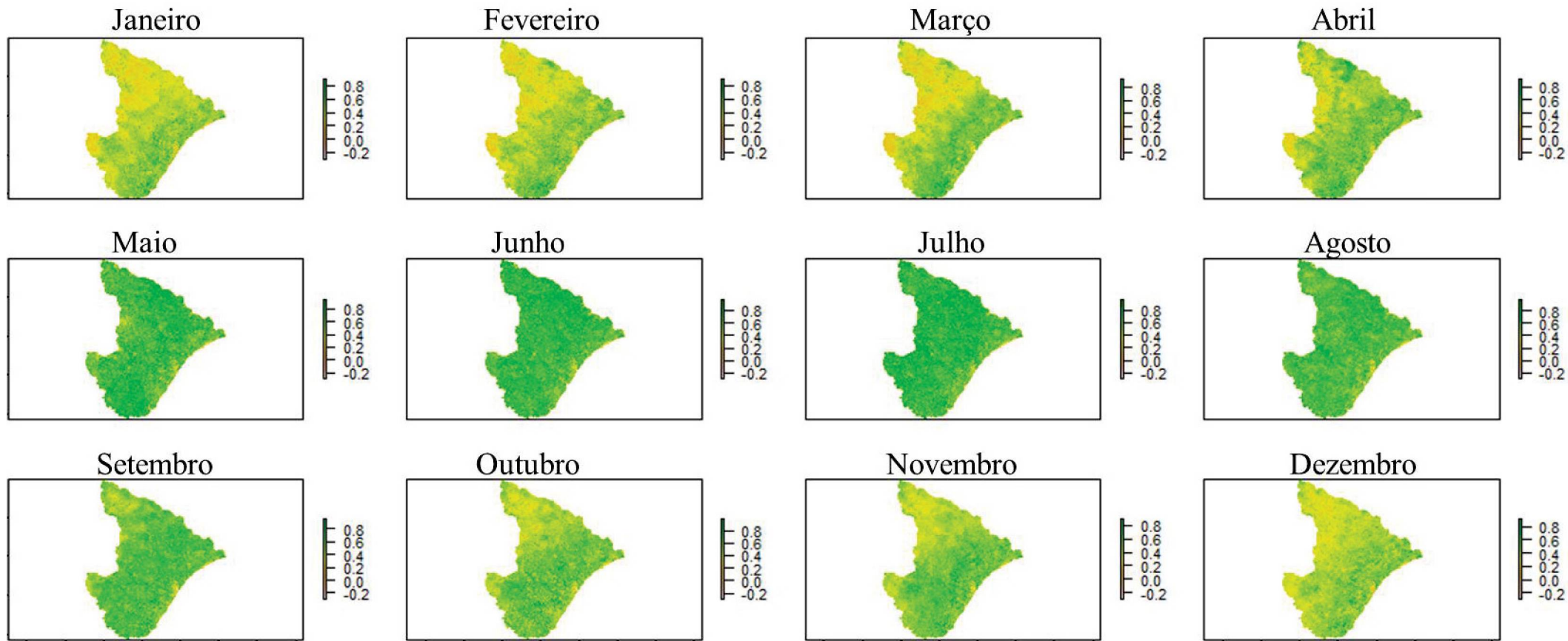
## APÊNDICE Q – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2007



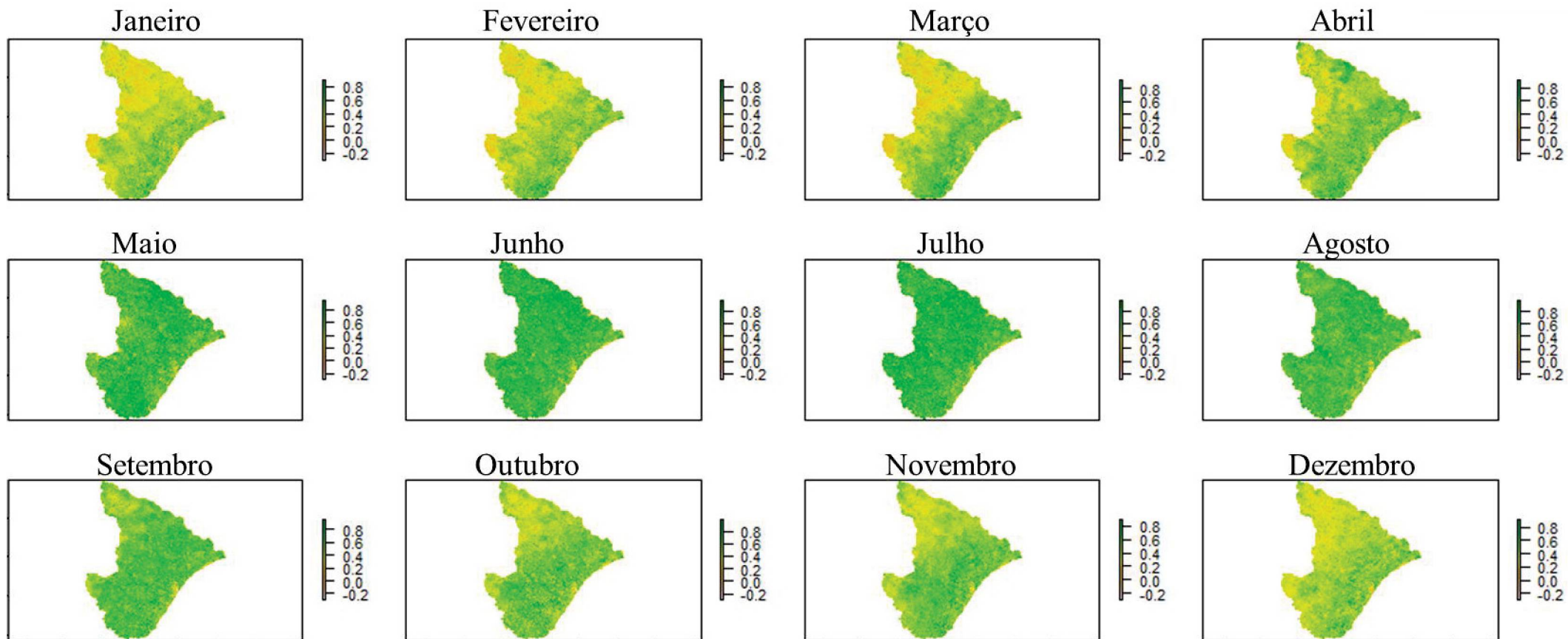
## APÊNDICE R – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2008



## APÊNDICE S – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2009

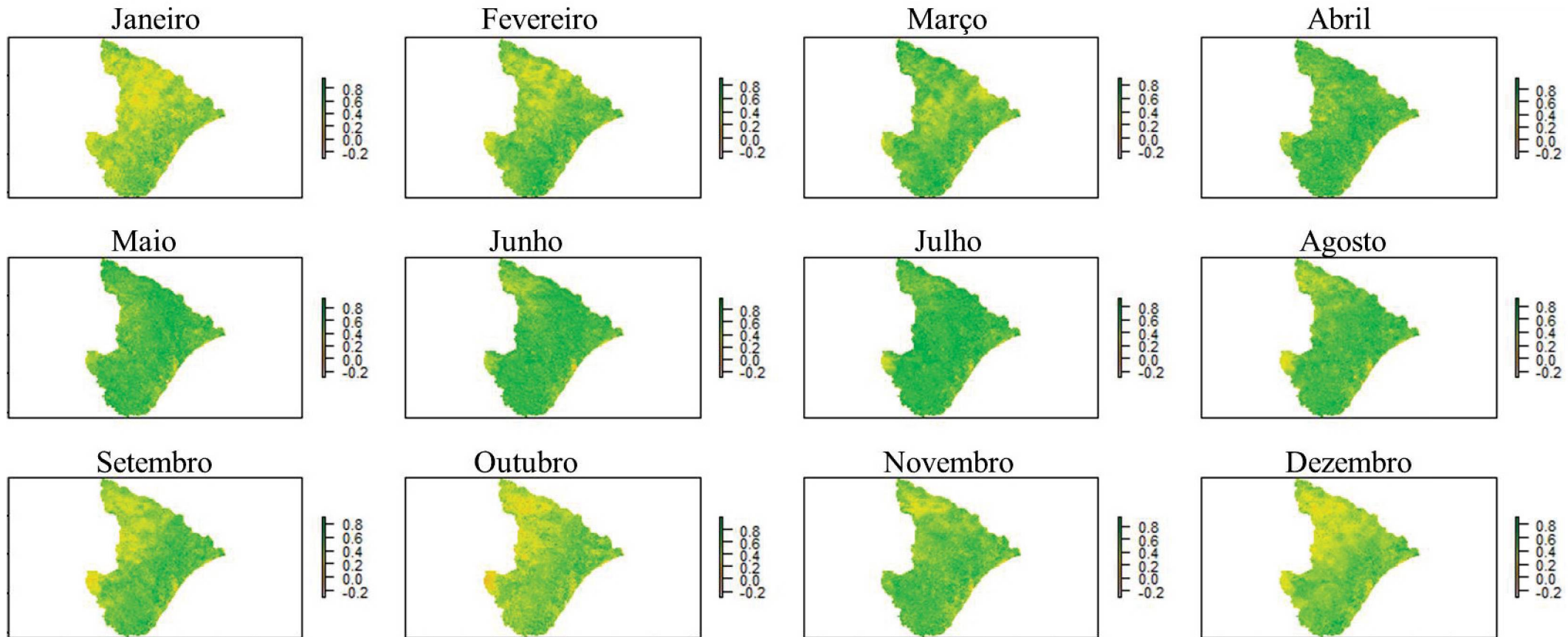


## APÊNDICE T – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2010

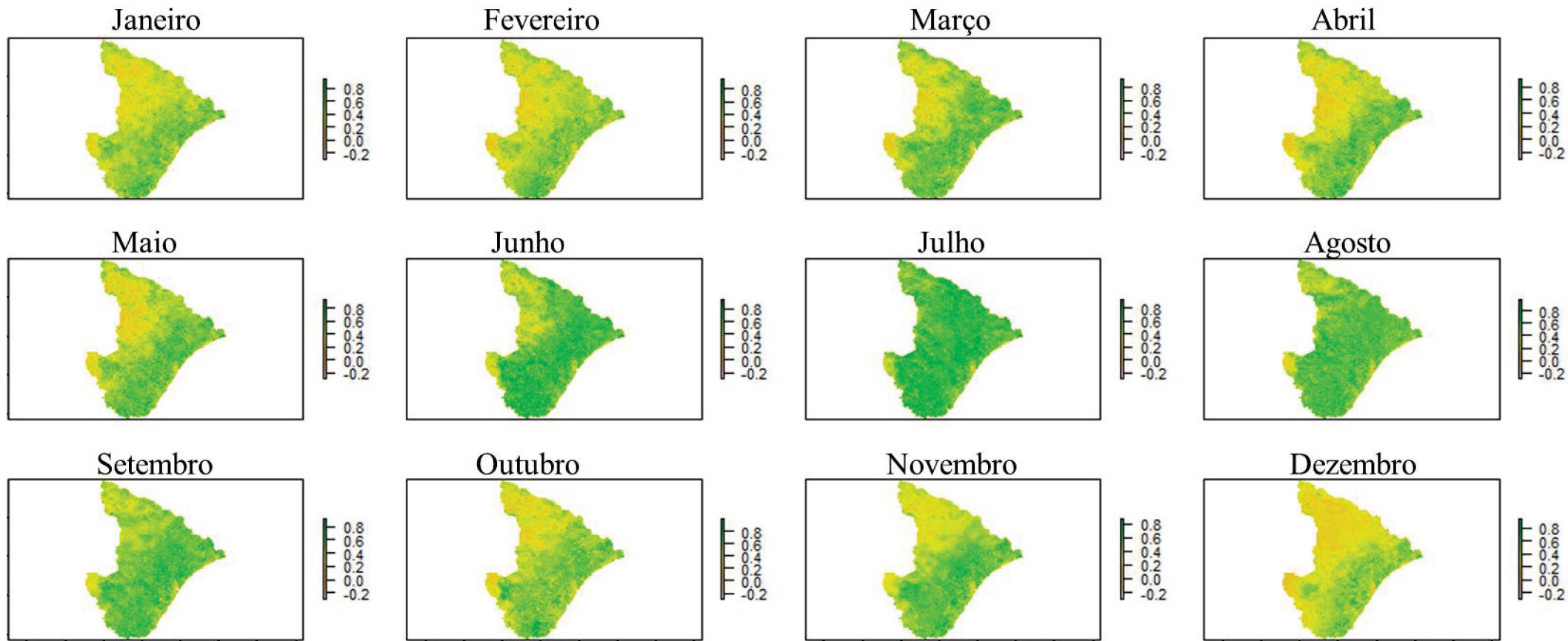




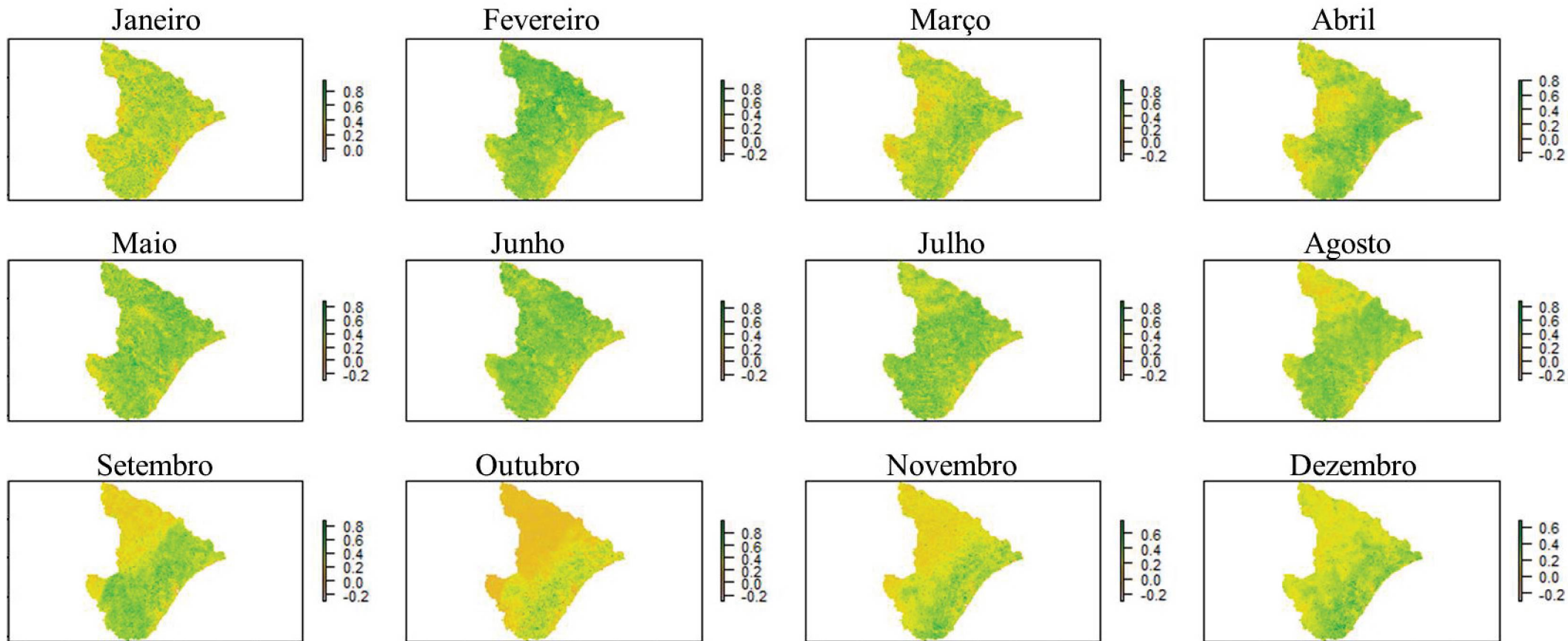
## APÊNDICE U – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2011



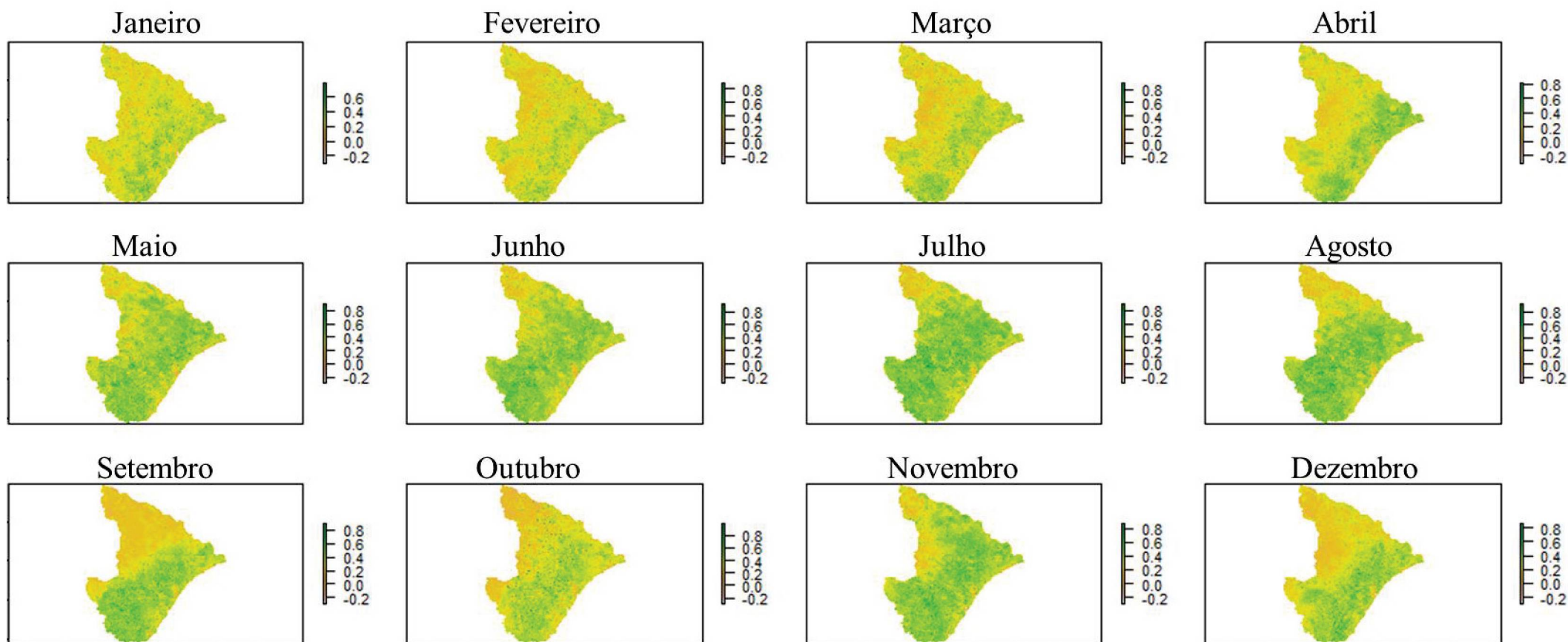
## APÊNDICE V – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE NDVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2012



## APÊNDICE W – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENCIAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2002

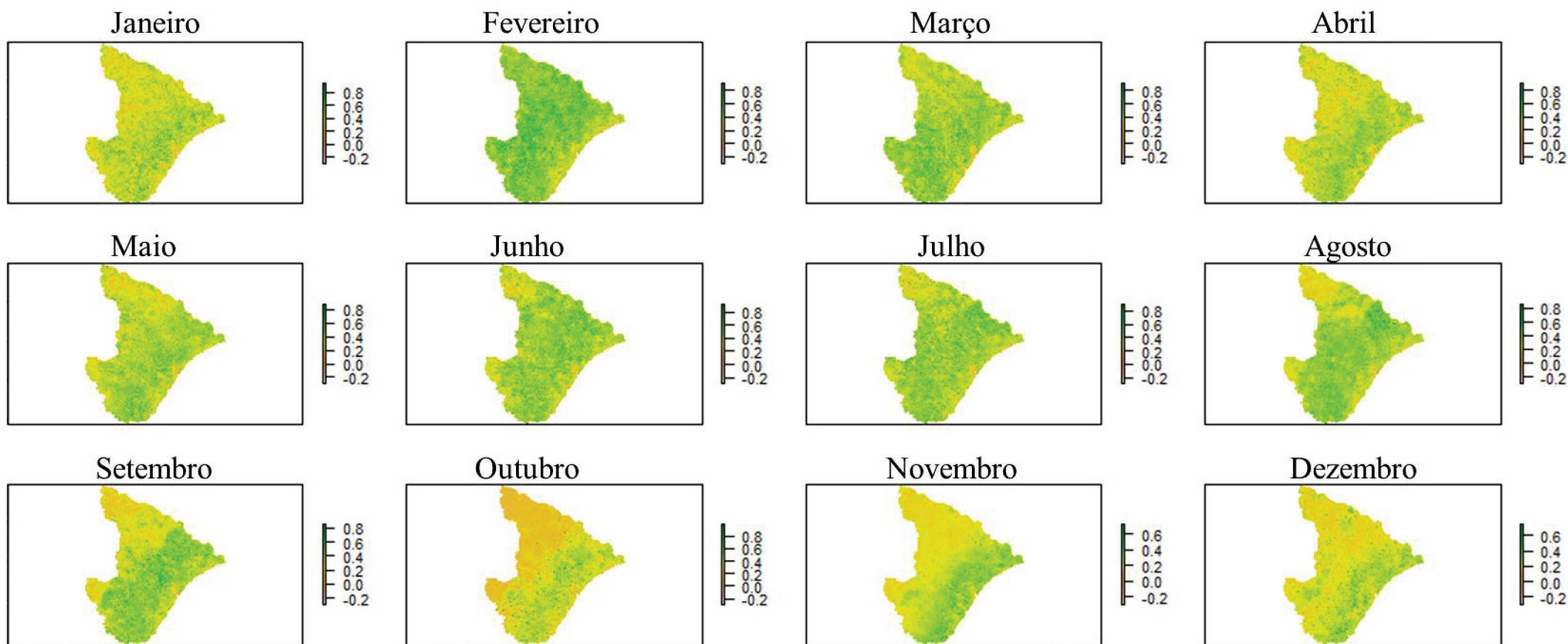


## APÊNDICE X – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2003

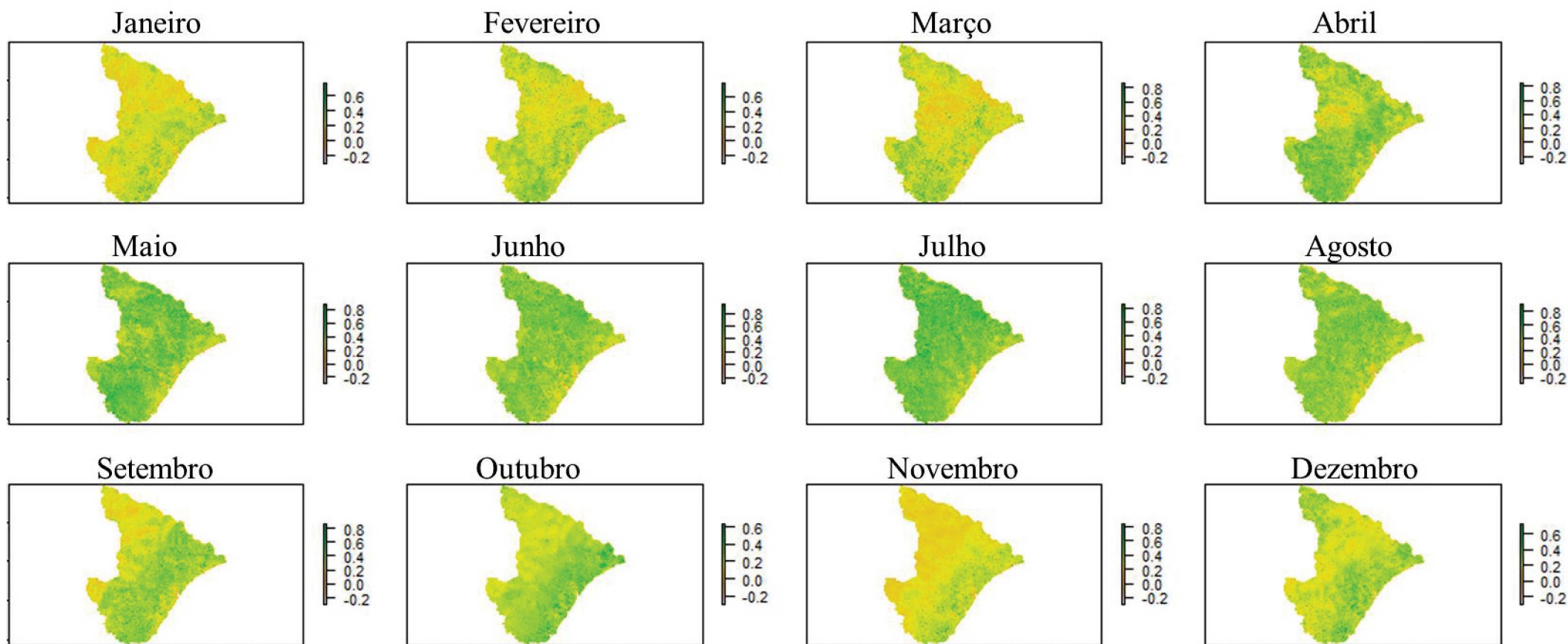




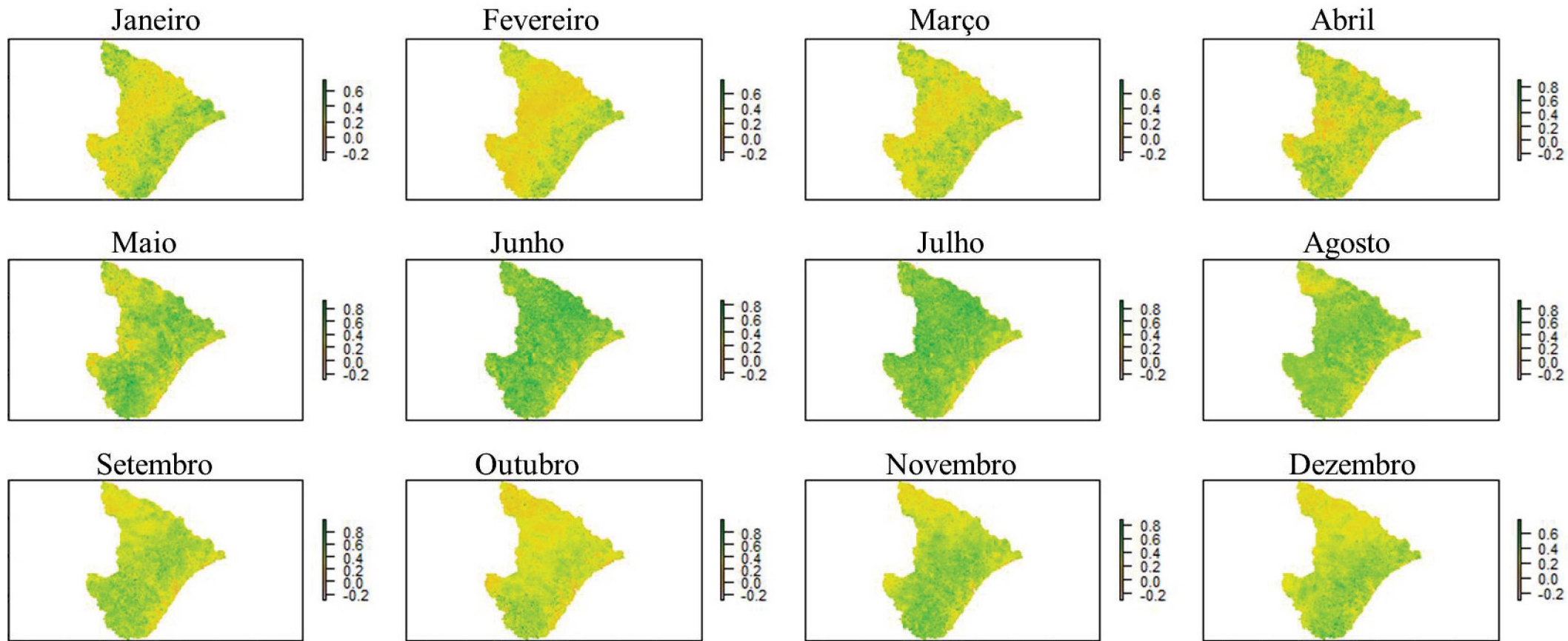
## APÊNDICE Y – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2004



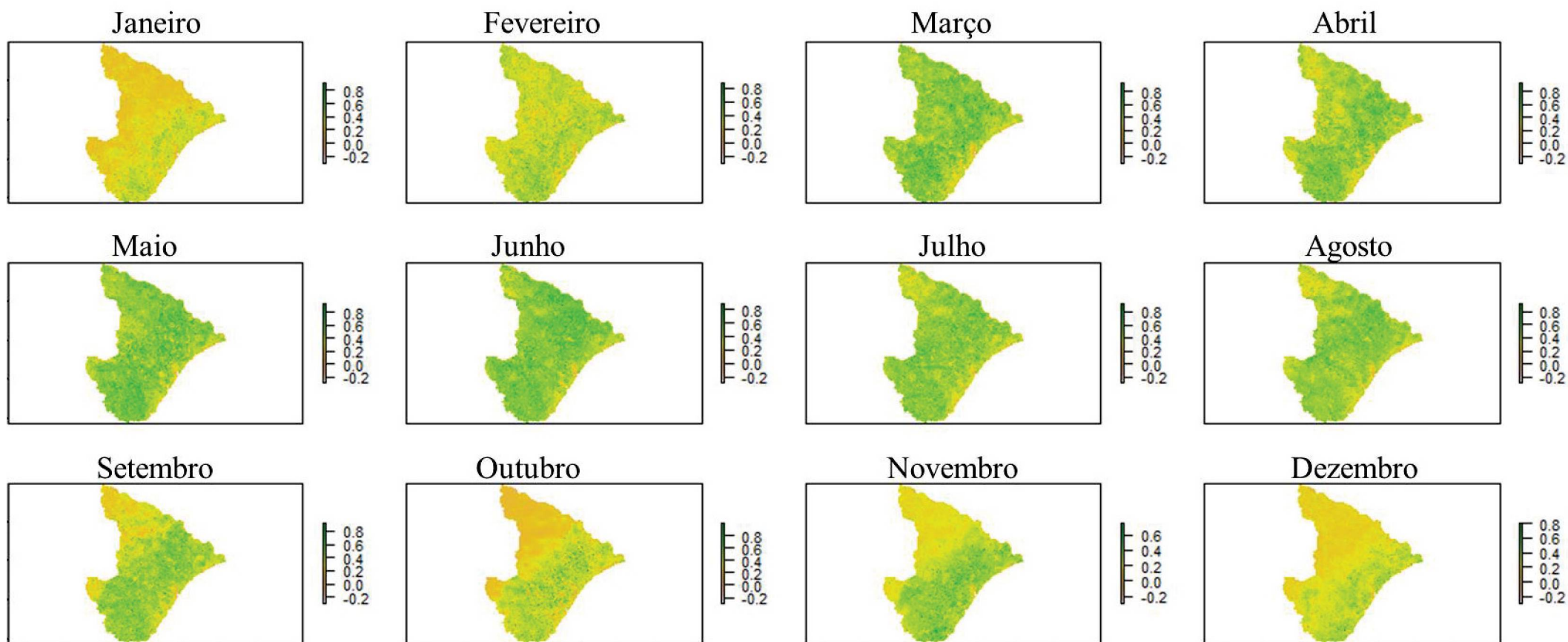
## APÊNDICE Z – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2005



## APÊNDICE AA – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2006

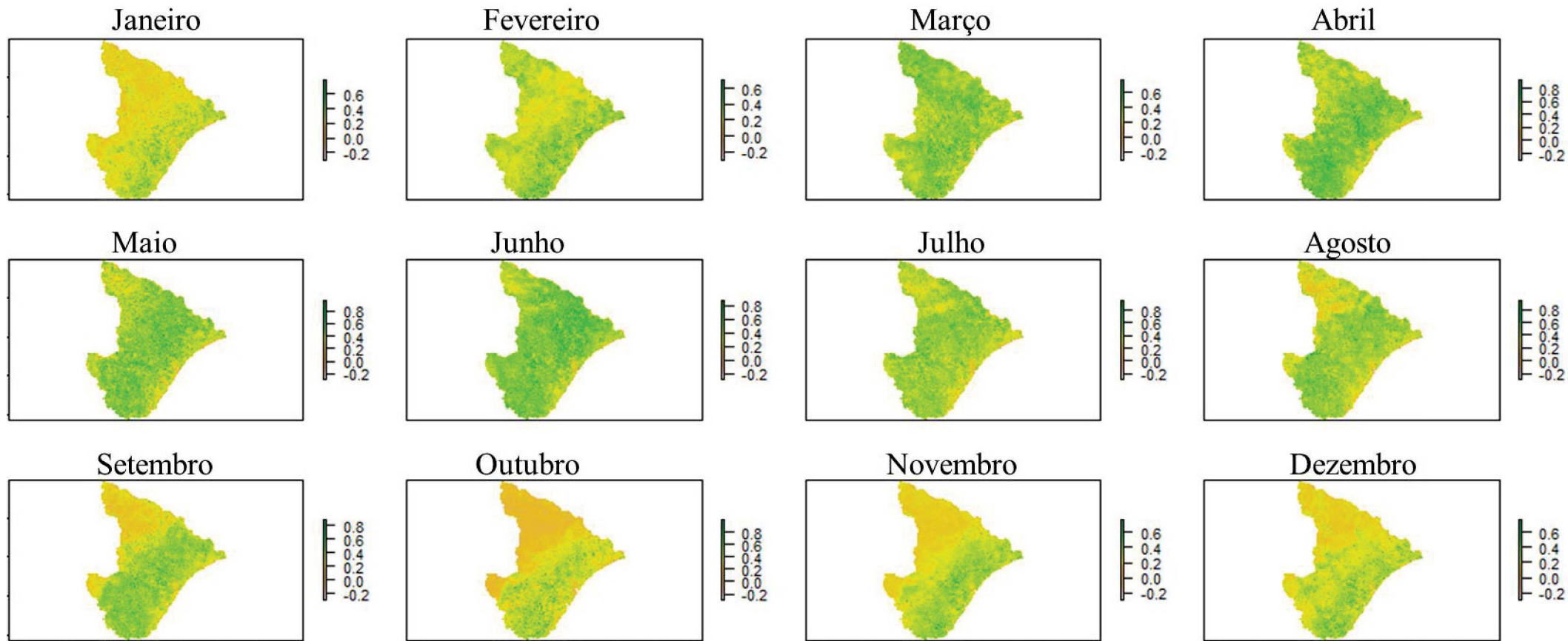


## APÊNDICE AB – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2007

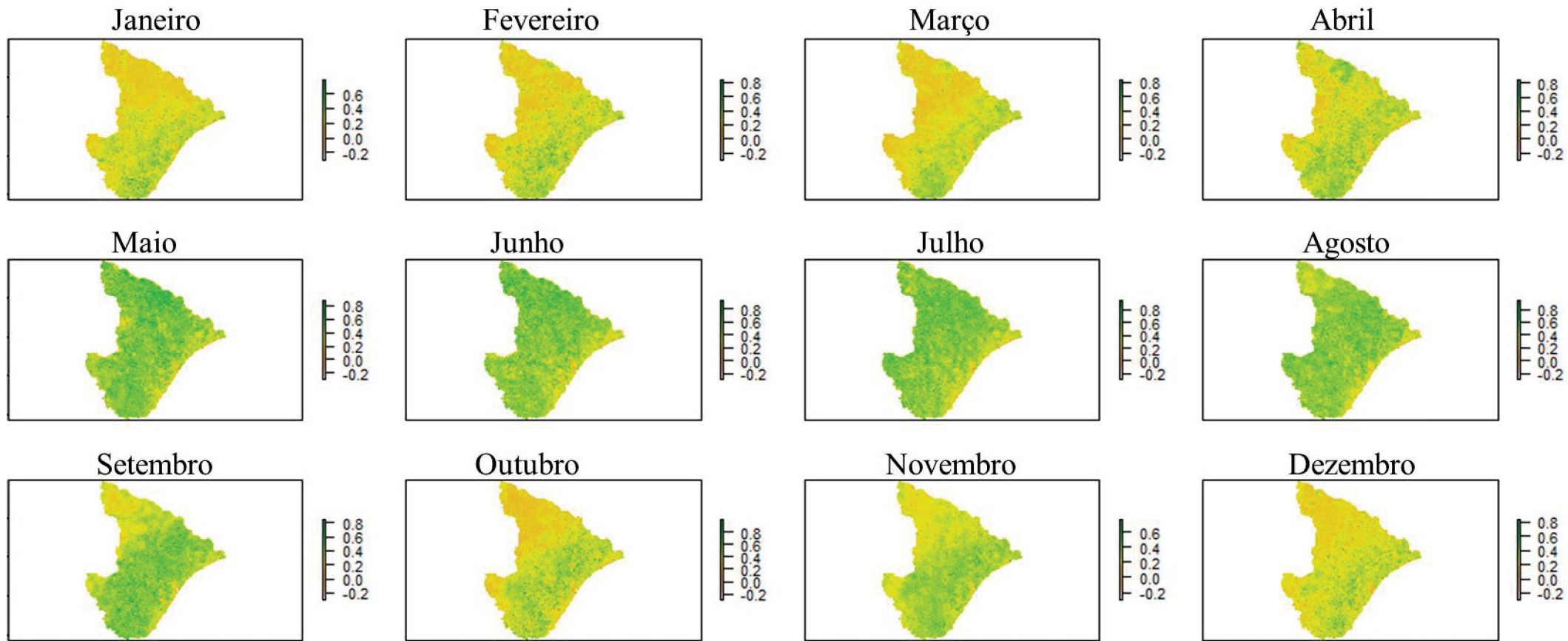




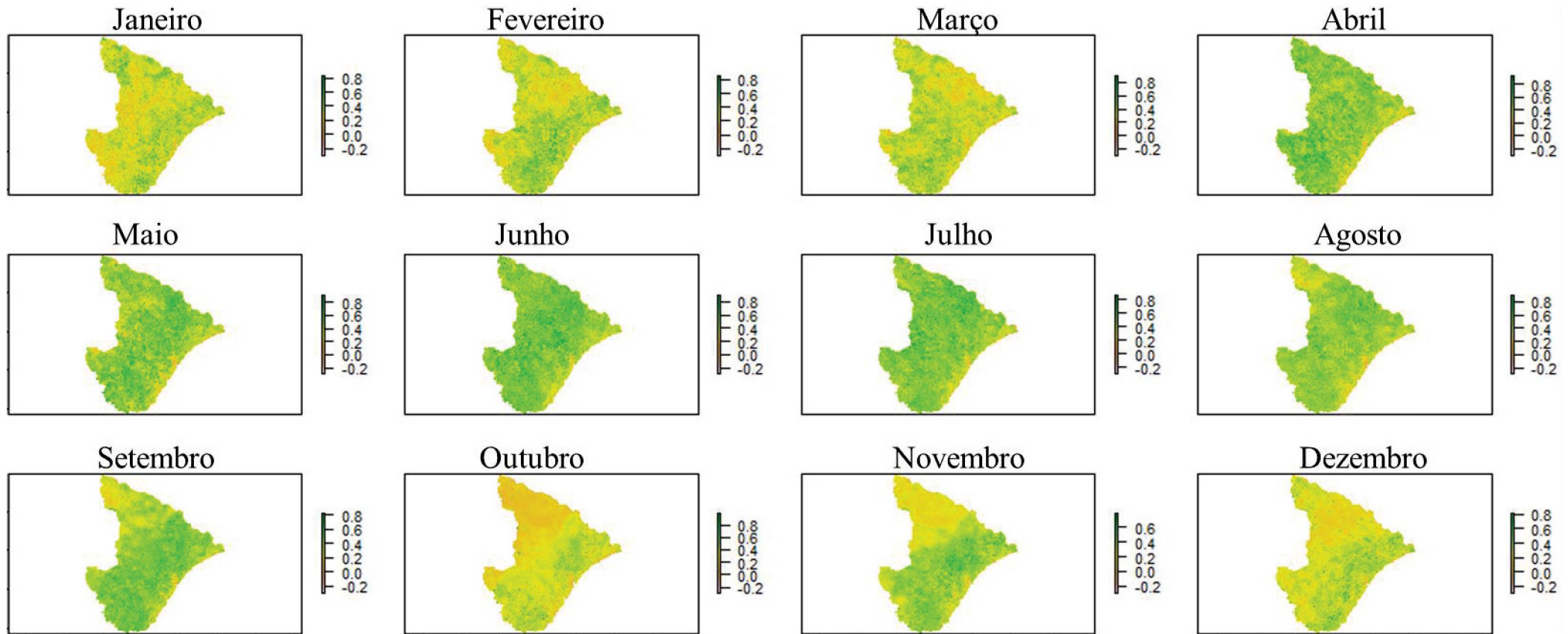
## APÊNDICE AC – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENCIAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2008



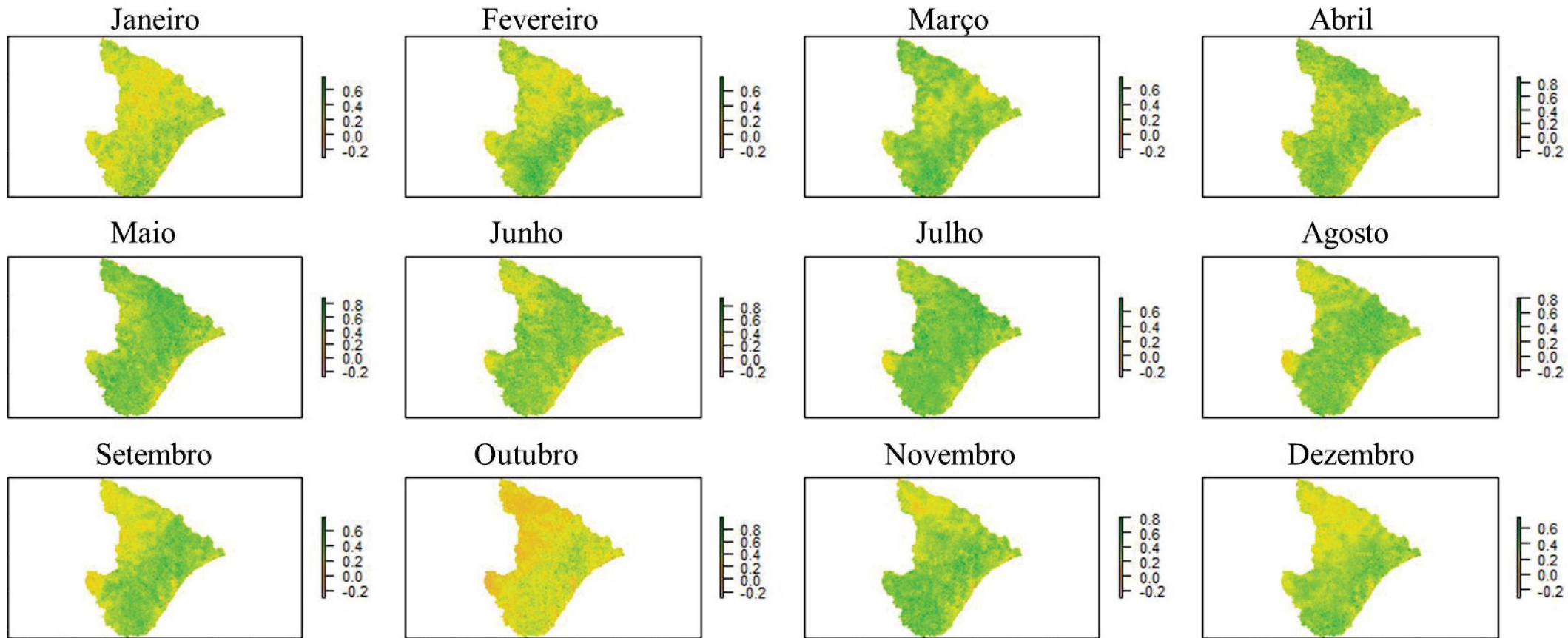
## APÊNDICE AD – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENCIAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2009



## APÊNDICE AE – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENCIAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2010



## APÊNDICE AF – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENSAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2011





## APÊNDICE AG – SÉRIE TEMPORAL DE TOTAIS MENCIAIS DE EVI EM SERGIPE, NO ANO DE 2012

